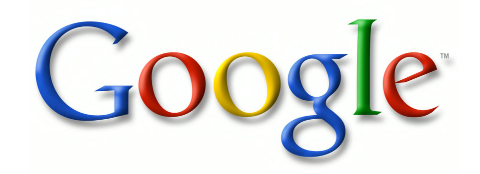



B 482218


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
PHYSICS
LIBRARY



SOCIÉTE FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1873.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
4003 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE, Paris

ANNÉE 1873.

PARIS,

AU SIÉGE PROVISOIRE DE LA SOCIÉTÉ,

SALLE GERSON,

près de la Sorbonne.

1874

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU VENDREDI 17 JANVIER 1873.

La Société française de Physique a tenu sa première séance et s'est définitivement constituée, le vendredi 17 janvier 1873, à la Sorbonne (Amphithéâtre de la rue Gerson).

Une Commission, nommée par les physiciens formant l'ancienne réunion de l'École normale, et composée de MM. d'Almeida, Cornu, Gernez, Lissajous et Mascart, avait préparé le projet de statuts suivant :

STATUTS.

Article Ier.

La Société française de Physique se propose de contribuer à l'avancement de la Physique par l'union des personnes qui aident aux progrès de cette science ou qui s'y intéressent.

Elle tient deux fois par mois des séances consacrées à l'exposé et à la discussion des travaux de Physique.

Elle met sous les yeux de ses membres les expériences les plus intéressantes et les plus nouvelles.

Elle publie un Bulletin qui est distribué gratuitement à tous ses membres.

Elle s'interdit toute discussion étrangère à la Physique.

Art. II.

La Société se compose de *membres honoraires,* de membres résidants et de membres non résidants.

Pour être élu membre de la Société, il faut être présenté par deux membres qui adressent une demande par écrit au président. L'élection est mise à l'ordre du jour de la séance suivante, sauf opposition du Conseil. La nomination a lieu à la majorité des membres présents.

Art. III.

Le titre de membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger. Les membres honoraires ont voix délibérative dans les séances, et une place d'honneur leur est réservée. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Le nombre en est fixé à six pour la première année, et il ne pourra ultérieurement en être nommé plus de deux chaque année.

Art. IV.

Les membres résidants payent un droit d'entrée de 10 francs et une cotisation annuelle de 20 francs.

Les membres non résidants ne payent pas de droit d'entrée, et leur cotisation est fixée à 10 francs.

ART. V.

Dans l'intérêt des membres non résidants, la Société, aux époques où un grand nombre de ces membres sont réunis à Paris, consacrera une ou plusieurs séances à répéter les principales expériences faites dans le courant de l'année.

ART. VI.

La Société est administrée par un bureau composé de : un président, un vice-président, un secrétaire général, un secrétaire, un vice-secrétaire et un archiviste-trésorier, et par un conseil composé de douze membres résidants et de douze membres non résidants. Le président du bureau préside la Société et le Conseil.

ART. VII.

Le bureau ne comprend que des membres résidants, et est nommé à la majorité absolue des voix des membres présents à la séance d'élection.

Le secrétaire général est spécialement chargé de régler, avec l'aide du secrétaire et du vice-secrétaire, l'organisation scientifique des séances. Il est nommé pour deux ans, ainsi que le trésorier : ils sont tous deux rééligibles.

Le vice-président et le vice-secrétaire d'une année deviennent président et secrétaire l'année suivante. Le président et le secrétaire sortants ne sont pas immédiatement rééligibles dans le bureau.

ART. VIII.

Le Conseil est nommé à l'élection par tous les membres de la

Société, et renouvelé par tiers chaque année. Les membres sortants ne sont pas immédiatement rééligibles.

L'élection du Conseil, pour éviter double emploi, a lieu dans une séance postérieure à l'élection du bureau.

Art. IX.

Les comptes des recettes et dépenses sont présentés chaque année au Conseil par le trésorier, puis communiqués à la Société.

La Société, avant d'en voter l'approbation, désigne par scrutin trois membres étrangers au Conseil, qui en font l'examen et présentent leur Rapport dans la séance suivante.

Art. X.

La Société reçoit les dons qui sont de nature à faciliter ses travaux, et inscrit dans son Bulletin les noms des donateurs.

La Société, dans le délai d'un an, se réserve de donner une forme définitive aux présents Statuts et d'arrêter les bases de son règlement intérieur.

Ce projet ayant obtenu l'adhésion écrite des membres de la réunion de l'École normale et de beaucoup d'autres physiciens, des invitations avaient été adressées à tous les adhérents. A 9 heures du soir, quarante et un d'entre eux étant présents, M. Lissajous, président de la Commission, ouvre la séance et expose, ainsi qu'il suit, l'origine et le but de la Société.

RAPPORT DE M. LISSAJOUS.

Il y a environ cinq ans, quelques physiciens eurent l'idée de se réunir périodiquement pour causer de Physique. En peu de temps, cette réunion prit un caractère plus actif et plus utile, grâce à l'initiative de M. Bertin qui mit à la disposition des membres de cette Association naissante une des salles de l'École normale.

C'est là que furent exposés, dans un cercle tout intime, un certain nombre de travaux originaux, et que furent portées à la connaissance des physiciens plusieurs expériences intéressantes et nouvelles. Qu'il nous soit donc permis d'exprimer à notre collègue et ami, M. Bertin, toute notre reconnaissance pour sa cordiale hospitalité.

Grâce à cette hospitalité, les physiciens ont pu se connaître et s'apprécier, ils ont compris l'utilité de se voir, de s'entendre, de faire l'échange de leurs idées. De là est venue tout naturellement à la plupart d'entre eux la pensée d'élargir, dans l'intérêt de la science, le cercle de leurs relations, et de créer, par l'union et l'entente de tous ceux qui aiment la Physique, une Société analogue à beaucoup d'autres qui existent depuis longtemps et prospèrent aujourd'hui. Pourquoi, en effet, la Physique serait-elle moins heureuse à cet égard que la Chimie, la Botanique, la Géologie, la Minéralogie, les Mathématiques?

Dans une séance tenue à l'École normale, le 20 décembre 1872, la proposition de fonder une Société française de Physique a été accueillie avec faveur, et la tâche d'en préparer l'organisation a été confiée à cinq membres de la réunion, MM. d'Almeida, Cornu, Gernez, Lissajous et Mascart. Je viens en leur nom, et uniquement par droit d'ancienneté, vous rendre compte de leurs travaux.

Dans plusieurs réunions tenues au Collége de France, nous avons examiné avec beaucoup de soin les Statuts de plusieurs autres Sociétés, et, après une discussion approfondie qui a occupé plusieurs séances, nous avons arrêté, *à l'unanimité*, le projet de Statuts dont vous avez reçu individuellement communication.

Il ne pouvait entrer dans notre pensée de vous proposer des Statuts définitifs: nous aurions évidemment outre-passé notre mandat; mais nous avons cru pouvoir, dans un très-petit nombre d'articles fondamentaux, affirmer les bases sur lesquelles nous pensons que la Société doit être établie. Ces bases ont été admises par vous, puisque vous leur avez donné votre adhésion écrite.

Dans le délai d'un an, le bureau et le Conseil que vous nommerez apporteront à nos Statuts, sous votre inspiration et avec votre assentiment, les modifications que vous jugerez nécessaires ou les compléments qui paraîtront utiles pour en préciser le sens ou en assurer l'exécution. Grâce à cette manière d'agir, notre Société commencera, dès la première heure, à fonctionner utilement pour la science, tandis que les plus autorisés d'entre vous prépareront avec réflexion et maturité les détails de notre organisation définitive. C'est au bureau et au

conseil nommés par vous à accueillir toutes les idées, à satisfaire, dans les limites du possible, tous les désirs qui leur seront exprimés, à parfaire enfin l'œuvre ébauchée par nous; mais ce que nous vous demandons instamment aujourd'hui, c'est de constituer immédiatement notre Société.

Plus de soixante-dix adhésions obtenues en quelques jours nous assurent un noyau suffisant de membres fondateurs. Nos collègues de province sont prévenus, et leurs adhésions commencent à nous parvenir. Vous jugerez sans doute nécessaire d'attendre qu'elles soient en nombre suffisant pour procéder à l'élection du Conseil, où les membres non résidents doivent être largement représentés; mais rien ne s'oppose à ce que, dès aujourd'hui, vous procédiez à l'élection de votre bureau, puisqu'il ne doit comprendre que des membres résidents.

Nous vous proposons donc, Messieurs :

1° De déclarer que la Société française de Physique est constituée sur les bases indiquées par les Statuts provisoires auxquels vous avez adhéré;

2° De procéder immédiatement à l'élection de notre bureau et d'ajourner à une prochaine séance l'élection du Conseil.

Permettez-moi, en terminant, d'exprimer, au nom de mes collègues et au mien, le vœu que nous conservions dans notre Société nouvelle les traditions de bonne et cordiale confraternité qui donnaient tant de charme à notre réunion intime de l'École normale. Puissent ces bons souvenirs du passé nous inspirer au moment où nous entreprenons une œuvre plus importante, qui nous permettra, nous en avons le ferme espoir, d'être utiles à la science et au pays.

Les conclusions de ce rapport ayant été adoptées, on procède à l'élection du président. M. Fizeau est élu à l'unanimité. Il entre immédiatement en fonctions et propose à l'assemblée de nommer membre honoraire M. Becquerel père, doyen des physiciens français, présent à la séance.

Cette proposition est acceptée par acclamation.

On passe ensuite à l'élection des autres membres du bureau.

M. Bertin est nommé vice-président par 32 voix.

M. d'Almeida, secrétaire général par 37 voix.

M. Maurat, secrétaire par 29 voix.

M. Cornu, vice-secrétaire par 27 voix.

M. Philippon, archiviste-trésorier par 40 voix.

Le bureau étant ainsi constitué, le président donne la parole au secrétaire général.

M. d'Almeida annonce qu'il a obtenu de M. le vice-recteur de l'Académie de Paris l'autorisation pour la Société de tenir ses séances dans la salle Gerson où a

lieu la réunion actuelle. Ce local a l'avantage d'être voisin de la Sorbonne, du Collége de France, de l'École normale, des lycées et des ateliers des principaux constructeurs ; il est très-propre à faire des expériences. La Société ferait bien de l'adopter définitivement.

Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

M. le président met ensuite en délibération le choix des jours où se tiendront les séances. On propose de les fixer au deuxième et au quatrième vendredi de chaque mois. Le président met la question aux voix et la proposition est adoptée à une forte majorité.

La séance est levée à 10 heures et demie.

SÉANCE DU 14 FÉVRIER 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures ; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Gernez décrit et répète plusieurs expériences imaginées par lui, dans le but de montrer l'influence de l'air sur le phénomène de l'ébullition.

M. Le Roux reproduit ensuite ses expériences sur l'induction péripolaire. L'auteur conclut qu'il n'y a lieu d'admettre, pour les phénomènes d'induction dont il s'agit, aucune exception à la loi de Lenz.

M. Lissajous répète une expérience par laquelle il fait produire à la flamme du gaz un son comparable à celui d'un sifflet de locomotive. Le même physicien présente un appareil destiné à rendre facilement observable la propagation des ondes à la surface d'un liquide.

Après ces expériences, suivies avec le plus grand intérêt par la réunion, M. d'Almeida donne lecture de la liste des membres fondateurs, qui est déclarée close à partir de ce jour. Les personnes qui désireraient faire partie de la Société devront désormais se conformer aux conditions indiquées par les Statuts.

M. Lissajous demande que l'on répète quelques expériences importantes déjà plus ou moins anciennes, que la plupart des physi-

ciens n'ont jamais eu l'occasion de voir. Il cite, par exemple, celle de M. Fizeau sur les dilatations. M. Fizeau annonce qu'il reproduira très-volontiers ses expériences devant la Société.

La séance est levée à 9 heures trois quarts.

Expériences sur le rôle des gaz dans le phénomène de l'ébullition des liquides; par M. D. Gernez.

Les travaux d'un grand nombre de physiciens, particulièrement ceux de De Luc, de Bostock, de M. Donny et de M. Dufour, ont démontré que la présence d'une atmosphère gazeuse au sein des liquides est nécessaire pour en déterminer l'ébullition continue; mais, de toutes les expériences imaginées pour mettre ce fait en évidence, la plus simple et la plus directe me paraît être celle que M. F. Marco a publiée l'année dernière dans les *Archives de Genève,* et décrite en ces termes (¹) : « Je prends un tuyau thermométrique avec son bulbe sphérique à son extrémité, je casse le bulbe de façon qu'il reste un tuyau avec une sorte d'entonnoir à bords irréguliers; je plonge ensuite ce tuyau dans l'eau d'un matras, de sorte que l'entonnoir soit appuyé sur le fond du matras. J'ai ainsi une petite masse d'air emprisonnée par l'entonnoir et par l'eau. J'échauffe enfin l'eau avec une flamme d'alcool jusqu'à l'ébullition. Alors, en plaçant convenablement la flamme, on voit des bulles de vapeur partir continuellement de l'entonnoir. » La publication de cette expérience m'engage à faire connaître quelques dispositions expérimentales analogues, qui font partie d'un travail d'ensemble entrepris en 1866, et que j'ai négligé de publier.

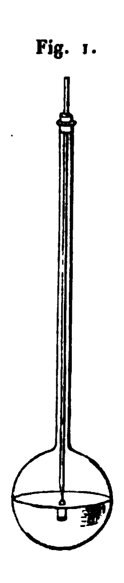
1. *Ébullition dans l'air raréfié.* — Dans un ballon à long col que l'on a préalablement lavé à l'acide sulfurique chaud pour détruire les poussières organiques à la surface du verre, on introduit de l'eau distillée que l'on amène à l'ébullition; après deux minutes, la vapeur d'eau a entraîné la plus grande partie de l'air du ballon; on amène alors dans le liquide une petite cloche obtenue en étran-

---

(¹) *Bibliothèque universelle de Genève,* XLIII, 279; 1872.

glant à la lampe l'extrémité d'un tube de verre dont l'autre bout est engagé dans un bouchon (*fig.* 1); on ferme le ballon en le retirant du feu, et on le maintient dans sa position initiale. L'ébullition continue alors, et les bulles de vapeur se dégagent toutes à l'orifice de la petite cloche, sous laquelle de l'air est resté emprisonné. Avec un ballon d'un demi-litre à moitié plein d'eau, le phénomène continue trente ou quarante minutes, sans qu'il soit nécessaire de

Fig. 1.



refroidir le col du ballon. Quand l'appareil est revenu à la température ordinaire, on constate qu'il ne reste sous la cloche qu'une très-faible partie de l'air qu'on y avait introduit.

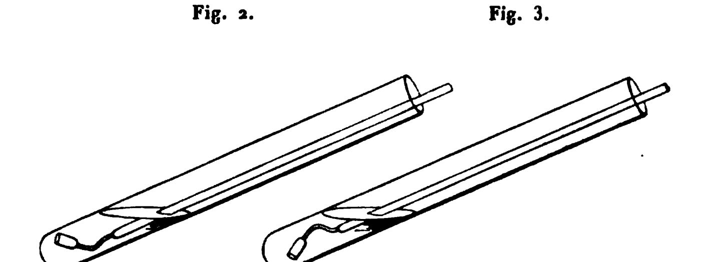
2. *Ébullition sous la pression atmosphérique.* — Avec la même disposition et en continuant l'action de la chaleur, on peut entretenir l'ébullition sous la pression atmosphérique, à la condition de percer le bouchon d'un trou pour mettre le ballon en communication avec l'extérieur; les bulles de vapeur se dégagent exclusivement à l'orifice de la cloche, et elles se succèdent d'autant plus rapidement que cet orifice est plus rapproché de la paroi du ballon.

Ces deux expériences sont très-faciles à réaliser et à montrer par projection devant un nombreux auditoire.

3. *Quantité de gaz nécessaire pour produire l'ébullition.* — Si l'on substitue au ballon un long tube de 50 à 60 centimètres de longueur et de 2 centimètres de diamètre environ, contenant une couche d'eau de 7 à 8 centimètres de hauteur, on peut plus facilement étudier l'influence des gaz sur l'ébullition. A cet effet, on introduit dans le liquide une petite cloche de 1 centimètre cube de capacité par exemple, et l'on chauffe. Les bulles de vapeur se forment toutes à son orifice, entraînant chacune une petite quantité d'air, comme on peut s'en assurer directement.

A cet effet, on se sert d'une petite cloche tellement inclinée sur l'axe du tube, que l'on puisse présenter son orifice vers le haut, de manière à laisser se dégager l'air qu'elle contient (*fig.* 2). En la

Fig. 2. Fig. 3.



ramenant à sa position initiale (*fig.* 3), il est facile d'y recueillir une bulle de vapeur obtenue, par exemple, en forçant le feu, ou au moyen d'une autre cloche ; on arrête alors l'expérience : la bulle de vapeur se condense, laissant une bulle d'air dont les dimensions varient avec le moment de l'ébullition où on l'a prélevée.

Du reste, on peut juger de la quantité de gaz enlevée sous la cloche par les bulles de vapeur qui naissent à son orifice : il suffit d'arrêter l'action de la chaleur ; l'ébullition continue pendant quelques instants, puis la vapeur qui remplissait la cloche se condense et l'on reconnaît que le volume gazeux qui y reste est d'autant plus petit que l'ébullition a été plus longtemps prolongée.

Ainsi chaque bulle de vapeur qui se produit entraîne avec elle une certaine quantité de gaz sans cesse décroissante, et qui peut être prodigieusement petite. Avec une bulle d'air grosse comme une tête d'épingle, d'environ un millimètre cube, j'ai produit l'ébullition de l'eau dans un tube pendant vingt-quatre heures. L'eau

vaporisée se condensait sur les parois du tube, que l'on maintenait incliné; elle retombait ainsi vers la partie chauffée, ce qui permettait de prolonger l'ébullition sans ajouter d'eau. En déterminant de temps en temps la vitesse d'écoulement des bulles de vapeur, j'ai pu évaluer à plus d'un demi-million le nombre des bulles qui s'étaient formées aux dépens de la petite quantité d'air employée jusqu'au moment où j'ai mis fin à l'expérience.

Après avoir suspendu pendant quelques minutes l'action de la chaleur, si l'on recommence à chauffer le liquide, on voit la bulle d'air qui reste, si petite qu'elle soit, se gonfler brusquement en produisant de la vapeur qui remplit la cloche, et le phénomène recommence; mais lorsque, pendant la période de refroidissement, la bulle de gaz a été absorbée par le liquide, il devient impossible, en chauffant à nouveau, de reproduire l'ébullition régulière; ce qui montre bien évidemment la nécessité d'une atmosphère gazeuse pour produire et entretenir le phénomène.

4. *Rôle des tubes dont une partie est très-étroite.* — L'expérience suivante rend compte mieux encore de l'effet persistant produit par les corps poreux, qui contiennent souvent des quantités de gaz insignifiantes. On introduit dans le tube une petite cloche dont l'orifice est tourné vers le haut; si le fond de la cloche est arrondi, l'air qu'elle contient se dégage et ne provoque pas l'ébullition; mais, si la cloche se termine par une cavité très-étroite, il reste dans cette région capillaire une petite bulle d'air adhérente aux parois, servant d'amorce aux bulles de vapeur qui viennent toutes y prendre naissance, et se dégagent en chapelet vers l'orifice de la cloche. Cet effet se continue des heures entières, chaque bulle de vapeur entraînant une fraction de la bulle d'air et en laissant une quantité sans cesse décroissante, mais qui adhère au fond du tube et suffit à la formation ultérieure de la vapeur. Vient-on à cesser de chauffer pendant quelques instants, le dégagement de vapeur s'arrête, et l'on voit à l'œil nu ou à la loupe la bulle gazeuse se réduire à des dimensions très-petites de l'extérieur vers son centre, s'élever dans la cloche et se dégager à la surface du liquide. A partir de ce moment, la cloche a perdu toute son efficacité.

Ces expériences, en même temps qu'elles rendent compte de la difficulté que l'on éprouve à chasser par l'ébullition les gaz con-

tenus dans les conduits capillaires des corps poreux, font comprendre le rôle que joue cette quantité de gaz, souvent infiniment petite, qui suffit à amorcer l'ébullition et à l'entretenir pendant un temps indéfiniment prolongé, si l'opération ne subit pas d'intermittences; elles expliquent aussi les soubresauts que l'on observe lorsqu'on a suspendu pendant quelques instants l'action de la chaleur, et qui cessent bientôt lorsqu'il reste dans les pores une petite quantité de gaz, mais qui persistent, au contraire, lorsque le gaz restant a été complétement absorbé.

5. *Effet d'une action mécanique sur l'ébullition.* — Entre autres expériences curieuses auxquelles peut donner lieu le phénomène de l'ébullition, je citerai la suivante, qui, à première vue, peut paraître assez étrange.

Dans un long tube incliné, contenant une couche d'eau de 5 à 6 centimètres, chauffée par la flamme du gaz, j'introduis une petite cloche à fond arrondi et dont l'orifice est tourné vers le haut; l'air qu'elle contient se dégage, et elle ne provoque pas l'ébullition. J'enfonce ensuite dans l'eau, à côté de la cloche, une longue baguette de verre, et je constate qu'elle est également sans effet; puis j'amène l'extrémité de la tige sur l'orifice de la cloche, et aussitôt, au point de contact, naît une bulle gazeuse qui remplit rapidement la cloche; l'ébullition commence alors et continue indéfiniment.

Pour comprendre ce qui se passe dans cette expérience, il faut se rappeler que le choc de deux corps solides au milieu d'une solution gazeuse provoque toujours le dégagement d'une petite quantité de gaz, sans doute par suite d'une production de chaleur aux points frottés, d'où résulte une diminution dans la solubilité. En plaçant l'extrémité de la baguette sur l'orifice de la cloche, on détermine la formation d'une petite bulle qui se trouve retenue dans la cloche incomplétement ouverte, et sert d'amorce au dégagement de vapeur. Cette interprétation se trouve confirmée par l'observation suivante : si l'on cesse de chauffer, l'ébullition s'arrête bientôt, la vapeur de la cloche se condense, mais il reste toujours une petite bulle de gaz nettement visible, et qui peut servir à une nouvelle expérience, si l'on recommence à chauffer. Vient-on, au contraire, à faciliter son dégagement en retirant la tige et la remettant doucement en place immédiatement après, il devient impossible de

provoquer de nouveau l'ébullition, à moins qu'on ne frotte la tige sur les bords de la cloche.

6. *Ébullition de divers liquides.* — Toutes ces expériences se réalisent très-facilement avec l'eau chauffée par la flamme du gaz ou de l'alcool, si l'on a eu soin de passer les vases de verre à l'acide sulfurique chaud, qui détruit les poussières organiques ou les traces de charbon qui pourraient produire des dégagements de vapeur; elles réussissent aussi bien avec des liquides volatils quelconques, tels que l'alcool, l'éther, le sulfure de carbone, le chloroforme, le chlorure de carbone, etc. Dans ce cas, il est avantageux, à cause de la chaleur spécifique plus faible de ces liquides et de leur volatilité plus grande, de chauffer au bain-marie : on évite ainsi la production de bulles de vapeur aux points accidentellement plus chauffés par le contact direct de la flamme du gaz ou de l'alcool, et l'on observe alors des retards plus prononcés à l'ébullition, jusqu'au moment où on la provoque par l'introduction d'une atmosphère gazeuse. Avec le sulfure de carbone, par exemple, on réalise facilement une expérience de cours très-instructive de la manière suivante : au centre d'un ballon de 2 litres rempli d'eau, et qui servira de bain-marie, on introduit l'extrémité bouchée d'un long tube de 2 centimètres de diamètre, on y verse une couche de sulfure de carbone de 2 à 3 centimètres, que l'on surmonte d'une couche d'eau de 8 à 10 centimètres d'épaisseur; on chauffe l'eau du ballon, et l'on amène sa température à 60 degrés et au delà, sans qu'il y ait ébullition du sulfure de carbone. Quand l'appareil sert pour la première fois, il se dégage d'abord quelques bulles de vapeur qui entraînent les gaz du liquide, puis on observe le retard à l'ébullition. Vient-on à introduire une petite cloche à air, il se produit immédiatement un abondant dégagement de vapeur qui cesse brusquement lorsqu'on enlève la cloche, mais qui persiste, lorsqu'on l'y maintient, tant que la température de l'eau du ballon n'est pas descendue au-dessous du point d'ébullition du sulfure de carbone sous la pression atmosphérique. Or le refroidissement d'un ballon de plusieurs litres rempli d'eau est très-lent, ce qui a le double avantage de permettre de préparer l'expérience une heure avant de s'en servir, et de la voir persister plus d'une heure après l'introduction de la cloche à air.

Flamme sifflante; par M. Lissajous.

En répétant les expériences de M. Govi sur les flammes sensibles, j'ai été conduit à une disposition qui donne un résultat nouveau. Un tube vertical de cuivre de 4 centimètres de diamètre, et de 15 à 20 centimètres de hauteur, est fermé à sa partie inférieure par une toile métallique. Je dirige à travers cette toile un courant de gaz d'éclairage sortant d'un bec à quelque distance au-dessous d'elle. Quand on allume le gaz dans l'intérieur du tube, la flamme fait entendre un son aigu presque comparable à celui d'un sifflet de locomotive.

Méthode pour étudier la propagation des ondes; par M. Lissajous.

Pour rendre facilement observable la propagation des ondes à la surface d'un liquide, j'ai fait construire une cuve rectangulaire, longue et étroite, dont les deux grandes faces latérales sont des lames de verre. J'y superpose de l'huile de pétrole et de l'eau alcoolisée dans des proportions telles que les densités des deux liquides soient très-peu différentes.

Si je produis une onde à la surface de séparation, la force qui tend à rétablir l'équilibre n'est que la différence des poids des colonnes liquides déplacées, tandis que la masse à mouvoir est la somme de leurs masses; la vitesse de propagation sera donc bien moindre que dans les circonstances ordinaires, et l'observation du mouvement devient très-facile.

SÉANCE DU 28 FÉVRIER 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Cornu décrit les expériences qu'il a faites, pendant les années 1871 et 1872, pour déterminer le vitesse de la lumière par la méthode de M. Fizeau; il indique les perfectionnements qu'il a cru devoir apporter au procédé original, tels que : l'enregistrement électrique de la seconde, de la vitesse de rotation et des époques des occultations, la simplification du moteur de la roue dentée réduit à son mouvement d'horlogerie ordinaire, etc., etc. Les appareils qui ont servi à ces expériences et les tracés graphiques qui en représentent les résultats sont mis sous les yeux de la Société.

La moyenne d'un grand nombre de séries très-concordantes a donné la vitesse de 298500 kilomètres par seconde, nombre qui s'accorde parfaitement avec celui qui résulte des expériences de Foucault.

M. Mascart indique ensuite une méthode expérimentale qui permet de vérifier, d'une manière simple, les lois relatives à la production de l'étincelle électrique. Si les deux conducteurs entre lesquels on provoque l'étincelle sont en relation avec les armatures d'une batterie réunie en surface, la quantité d'électricité, indiquée par une bouteille de Lane, nécessaire pour produire l'étincelle, est proportionnelle au nombre de jarres de la batterie. Au contraire, si les jarres sont réunies en cascade, la quantité d'électricité nécessaire pour exciter l'étincelle à une distance déterminée est en raison inverse du nombre de jarres.

Enfin M. Mascart présente quelques expériences fort intéressantes destinées à montrer que l'étincelle, quand elle passe d'un milieu dans un autre, suit toujours la route qui offre le moins de résistance et se dévie en produisant un phénomène analogue à la réfraction de la lumière. Dans une de ces expériences, la décharge ayant lieu au sein d'un mélange d'essence de térébenthine et d'huile d'olive, l'étincelle sort du liquide presque normalement à sa surface, puis y rentre de la même manière à son autre extrémité, après avoir rasé cette surface à travers l'air, dans presque toute sa longueur.

La séance est levée à 10 heures.

Sur la détermination de la vitesse de la lumière par la méthode de la roue dentée; par M. A. Cornu.

Durant le cours de mes recherches sur la vitesse de la lumière ([1]), j'ai pu me convaincre de la facilité avec laquelle on peut répéter la célèbre expérience exécutée en 1849 par M. Fizeau, entre Suresnes et Montmartre. Je me propose d'indiquer succinctement, ainsi que je l'ai fait à la Société de Physique, comment, avec le matériel ordinaire d'un cabinet de Physique, on peut, sans grande dépense, improviser les appareils qui permettent de répéter cette belle expérience et de vérifier approximativement la valeur de la vitesse de la lumière.

La première condition est d'avoir à sa disposition deux stations, deux mansardes par exemple, distantes de 2 kilomètres au moins, qui *se voient* réciproquement : c'est le minimum de distance qu'on puisse employer commodément pour ne pas rencontrer des difficultés d'une autre nature, telles que de trop grandes vitesses de rotation des mécanismes.

La partie optique des appareils se compose essentiellement de deux lunettes, dont les objectifs achromatiques doivent avoir de 60 à 100 millimètres de diamètre, c'est-à-dire de 3 à 4 pouces. L'expérience est d'autant plus facile à installer que le diamètre des objectifs est plus grand, à cause de la plus grande quantité de lumière utilisée ([2]). Les oculaires terrestres ou astronomiques de ces deux lunettes doivent être enlevés et remplacés par les pièces suivantes :

Pour la lunette de la station où se tient l'observateur, la pièce oculaire (*fig.* 1) se compose : 1° d'un oculaire simple *aa'*, formé par une très-petite lentille de 25 à 30 millimètres de distance focale, au besoin d'un objectif faible de microscope; 2° d'une lentille éclaireur *bb'*, de 15 à 20 millimètres de diamètre et de 30 à 35 millimètres de distance focale; 3° d'une lame réfléchissante à 45 degrés *ll'*; on la compose avec deux verres minces de microscope

---

([1]) *Voir* les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXVI, p. 338; février 1873.

([2]) On démontre aisément que cette quantité est proportionnelle :

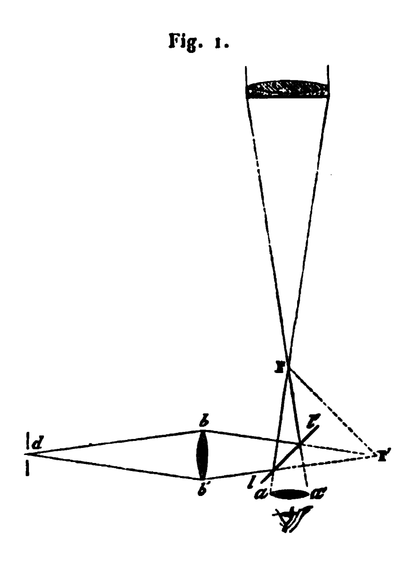
1° A l'éclat intrinsèque de la source lumineuse employée;

2° Au produit des *surfaces* des deux objectifs;

3° A l'inverse du carré de la distance des deux stations.

superposés qu'on applique sur une très-petite plaque métallique percée d'une ouverture de 8 à 10 millimètres; avec quelques bandes de papier noir gommé, on les fixe très-solidement et on les met assez

Fig. 1.



bien en contact pour qu'on aperçoive sur la surface commune les anneaux colorés de Newton par réflexion.

Ces trois pièces doivent être placées dans des montures convenables ou simplement fixées sur une petite planchette qu'on lie au tube de la lunette avec du fil ciré dans les positions indiquées par la figure. Les distances respectives de ces pièces sont déterminées par les conditions suivantes : l'oculaire simple doit être aussi près que possible de la lame réfléchissante, sans toutefois gêner les mouvements qu'il faut lui donner pour le réglage; de plus, il doit être à une distance du foyer principal de l'objectif de la lunette un peu inférieure à sa propre distance focale, de façon à permettre la vision distincte des images renversées qui se forment dans le plan focal *ff'*. La lentille éclaireur est disposée de façon que le foyer conjugué d'un petit diaphragme *d* placé à peu près au double de sa distance focale se fasse après réflexion sur la lame réfléchissante en F, dans le plan focal de l'objectif. Cette relation de position entre l'oculaire et l'éclaireur se détermine aisément en plaçant une feuille de papier blanc dans le plan focal : on voit à travers l'oculaire le grain

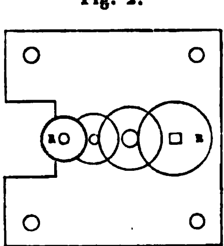
du papier et l'image conjuguée du diaphragme éclairé par la lumière vive d'une lampe à pétrole; on règle la position du diaphragme de façon que les bords de cette image soient aussi nets que possible.

Il est bon, pour éviter des tâtonnements inutiles, de faire une épure géométrique en vraie grandeur de la marche des rayons dans cet oculaire éclaireur, et de suivre exactement le dessin pour l'ajustement des diverses pièces qui la composent. Les conditions les plus importantes à remplir sont : 1° l'ajustement exact des centres optiques des deux lentilles dans le plan passant par l'axe géométrique de la lunette, et 2° celui du plan de la lame réfléchissante à l'intersection des axes optiques de la lunette et de l'éclaireur.

Pour la seconde lunette le dispositif additionnel est très-simple; il consiste à mettre exactement dans le plan focal un petit miroir formé par une glace étamée, ou mieux argentée, que l'on fixe sur le diaphragme focal.

La partie mécanique de l'appareil consiste (*fig.* 2) en un mouvement d'horlogerie quelconque permettant de faire tourner une roue dentée avec une grande vitesse. On trouve dans le commerce, à très-bon compte, des *ébauches* de mouvement de pendule ([1]) qui peuvent servir à cet usage : il suffit d'enlever l'échappement et la minuterie, et de remplacer la roue d'échappement par une roue de même diamètre à peu près, mais plus légère et à denture très-fine d'une centaine de dents environ. Il faut régler la position de cette roue dans son axe d'après le foyer de l'oculaire simple précédemment décrit. On entaille les deux platines pour permettre aux rayons lumineux de

Fig. 2.



([1]) Les ébauches connues sous le nom de *roulants carrés*, de 10 à 12 centimètres de côté, sont les plus commodes. Voir *fig.* 2.

passer et d'atteindre normalement la circonférence de la roue dentée, et l'on ajoute sur l'avant-dernier mobile un petit frein quelconque pour régler la vitesse : l'un des plus simples consiste en un ressort frottant sur la jante de la roue, avec une vis destinée à modérer la pression du ressort.

Il reste maintenant à dire quelques mots sur l'installation des appareils.

Chacune des lunettes est braquée sur la station opposée et fixée solidement sur les supports qu'on a choisis ; il est bon toutefois de se ménager de très-petits réglages : l'image de la fenêtre de la station doit apparaître au milieu du champ.

Une condition importante à remplir, c'est la stabilité ; il faut employer des tables solides, et même sceller avec du plâtre les supports qu'on veut utiliser : on évite ainsi bien des pertes de temps et des ennuis inutiles.

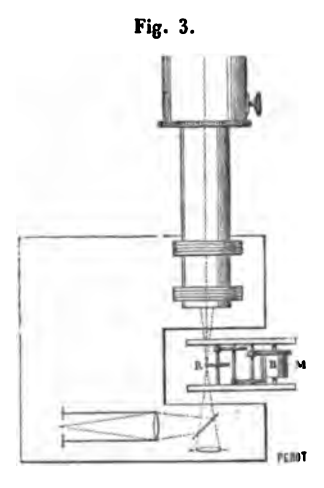
Première station. — C'est celle où se tiendra l'observateur. La lunette porte l'oculaire éclaireur ; le réglage de cette pièce consiste à faire coïncider l'image conjuguée du diaphragme avec l'image de la fenêtre de la station opposée et à veiller à ce que, dans cette position, le cône des rayons de la lentille éclaireur couvre bien tout l'objectif. Si la construction graphique précédemment recommandée a été bien exécutée, ces conditions se trouvent remplies d'elles-mêmes.

Deuxième station. — Elle renferme la deuxième lunette disposée en *collimateur à réflexion*. Le réglage consiste à placer la surface réfléchissante exactement dans le plan focal. Pour remplir exactement cette condition, on enlève une partie de l'étamage ou de l'argenture, et l'on se sert du bord de la couche réfléchissante comme d'un réticule, de façon à amener exactement l'image focale dans le plan de cette couche : à cet effet on se sert d'un fort oculaire ou simplement d'une bonne loupe à main à l'aide de laquelle on examine l'image de la fenêtre de l'autre station dans la partie libre du champ. Lorsqu'on voit à la fois très-nettement dans le même plan le bord de l'argenture et la fenêtre de la station opposée, on donne à la lunette un léger déplacement latéral qui fait tomber sur la partie réfléchissante le sommet du cône des rayons venant de l'autre station ; on fixe alors solidement l'appareil, et le réglage du collimateur est assuré.

Exécution de l'expérience. — On commence par se régler de jour, de façon à pouvoir être assuré le soir même de la visibilité de la lumière de retour : à cet effet on dispose une lampe à pétrole et une lentille ordinaire de projection à court foyer, de façon à projeter l'image de la flamme, prise de tranche, sur le petit diaphragme *d* de l'éclaireur. On constate le bon alignement de ces pièces en examinant la lentille éclaireur : elle doit être couverte de lumière complétement. A l'aide d'un papier blanc mis au foyer en F au delà de la lame réfléchissante, ou mieux placé sur le prolongement des rayons en F_1, on constate la position apparente du point éclairé; par un léger déplacement de tout l'appareil, on amène la fenêtre de la station opposée à coïncider avec ce point. On reconnaît que l'objectif de la lunette est tout entier couvert de lumière; si cette condition est remplie, le réglage est complet.

A la nuit tombante, on vérifie encore ce réglage : si l'on dispose

Fig. 3.



de la lumière Drummond, la lumière de retour s'aperçoit très-facilement, même avant la tombée de la nuit. Généralement les circonstances atmosphériques sont très-favorables au moment du coucher du soleil, et il est toujours bon de les utiliser.

La lumière de retour est produite par l'illumination de toute la surface de l'objectif de la deuxième station lorsqu'elle est bien visible; on approche alors le mécanisme M (*fig.* 3) de manière que le point lumineux soit au milieu de la longueur des dents de la roue

dentée. Il est nécessaire alors d'enfumer la denture avec une très-petite lampe à huile qu'on obtient avec un tube de verre rempli par une mèche et quelques gouttes d'huile : en faisant tourner lentement les dents à travers la flamme fumeuse, on arrive à annuler presque complétement le pouvoir réflecteur du métal. L'expérience est alors complétement prête. On desserre progressivement le frein et l'on peut constater le phénomène de la disparition et réapparition successive de la lumière pour des vitesses croissantes.

Il est facile d'obtenir des vitesses de quatre cents tours par seconde pour la petite roue dentée du mécanisme, en mettant un fort ressort dans le barillet. Si l'on suppose 120 dents à cette roue, le temps nécessaire au passage d'une demi-dent, condition pour obtenir la première extinction, correspondra à $\frac{1}{2 \times 120 \times 400} = \frac{1}{96000}$ de seconde. La vitesse de la lumière étant de 298 000 kilomètres par seconde, la lumière parcourra un espace de $\frac{298000}{96000} = 3^{km},1$ pendant cette fraction de seconde : c'est la distance de l'aller et retour que fournirait la première extinction. Donc, si la distance des deux stations est de 3 kilomètres, on pourra observer la première extinction et la première réapparition.

On voit que, même avec 2 kilomètres, on peut, à la rigueur, constater le double phénomène en forçant la vitesse du mécanisme.

On pourrait même faire une mesure approximative de la vitesse : il suffirait qu'un second observateur comptât le nombre de tours d'une des roues, celle des minutes par exemple, pendant que le premier observateur maintiendrait constante la vitesse du mécanisme correspondant à l'extinction de la lumière de retour : on déduirait de cette observation le temps de passage d'une demi-dent; divisant le double de la distance des deux stations par la fraction de seconde ainsi déterminée, on devra retrouver approximativement la valeur de la vitesse de la lumière, 298000 kilomètres à la seconde.

Le but de cette Note sera rempli, si quelque physicien y puisait le désir de répéter l'une des plus belles expériences de l'optique.

SÉANCE DU 14 MARS 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures ; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Cazin présente à la Société sa balance électrodynamique et décrit les expériences qu'il a faites avec cet instrument pour la recherche des lois de la production du magnétisme par les courants.

Les électro-aimants qu'il a étudiés avaient la forme de tubes dépassant la bobine d'au moins 5 centimètres à chaque extrémité. Leurs diamètres ont varié de 5 à 8 centimètres, et leurs épaisseurs ont été graduellement croissantes à partir de $\frac{1}{2}$ millimètre. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

La distance des deux pôles est indépendante de l'intensité du courant et du diamètre du tube, pourvu que l'épaisseur soit la même ; elle augmente avec cette épaisseur jusqu'à ce que celle-ci ait atteint une limite qui a été trouvée de 5 millimètres.

La quantité de magnétisme développée peut se représenter par la formule empirique suivante :

$$m = AS\,(1 - B^r)\,e^{\frac{6}{5}} \text{ arc tang } Cie^{-\frac{6}{5}},$$

dans laquelle s est le nombre des spires de la bobine, r le rayon du tube, e son épaisseur et i l'intensité du courant.

M. Guillemin répète les expériences qu'il a faites récemment pour étudier l'influence exercée sur l'étincelle de la bobine Ruhmkorff par de grandes surfaces métalliques isolées, mises en communication avec les extrémités du fil induit. L'effet est nul si un seul des pôles communique avec une des surfaces dont il s'agit ; il est, au contraire, très-sensible et correspond à un accroissement notable d'éclat et de bruit quand les deux pôles communiquent avec des surfaces égales.

Si les surfaces mises en rapport avec les deux pôles sont inégales, l'effet est le même que celui qu'on obtiendrait avec deux surfaces de même dimension que la plus petite des deux.

La séance est levée à 10 heures.

Détermination expérimentale de la quantité de magnétisme d'un aimant ou d'un électro-aimant rectiligne; par M. A. Cazin.

La méthode que j'emploie, pour mesurer la quantité de magnétisme et la distance polaire d'un aimant, m'a permis de résoudre le problème suivant : *Exprimer la quantité de magnétisme appliquée à chaque pôle d'un électro-aimant, dont le noyau est un tube de fer dépassant la bobine, en fonction de quatre variables : l'épaisseur e et le rayon r du tube, l'intensité i du courant, le nombre* S *des spires de la bobine.*

Les résultats généraux de mes expériences peuvent s'énoncer comme il suit :

1° La bobine n'a pas d'autre influence que celle du nombre des spires, lorsque le noyau dépasse suffisamment la bobine; on peut le démontrer théoriquement pour un noyau indéfini.

2° Le magnétisme ne croît pas indéfiniment quand on fait croître l'intensité du courant, de sorte qu'il y a une limite d'aimantation; ce fait est déjà connu.

3° Le magnétisme croît presque proportionnellement à l'épaisseur lorsque celle-ci est inférieure à 2 millimètres, et elle croît très-peu avec l'épaisseur quand celle-ci a atteint une certaine valeur croissante avec l'intensité, et voisine de 5 millimètres.

4° Le magnétisme croît avec le rayon du noyau, sans dépasser une certaine valeur qui dépend des autres variables.

On a reconnu en outre qu'un faisceau de fils de fer acquiert moins de magnétisme qu'un tube de même poids, de même longueur, de même diamètre extérieur.

Enfin le fer déposé par électrolyse acquiert dans une bobine la même quantité de magnétisme que le fer laminé de même épaisseur, dans les mêmes circonstances; d'où il résulte que la structure du fer n'a pas d'influence sur le magnétisme temporaire.

Formule. — Voici la formule empirique qui donne la quantité de magnétisme en fonction des quatre variables indépendantes :

$$m = \mathrm{AS}(1 - \mathrm{B}^r)\, e^{\frac{e}{5}} \operatorname{arc\,tang} \mathrm{C} i e^{-\frac{e}{5}}.$$

Pour des noyaux de 40 centimètres au moins de longueur, et des

bobines de 16 centimètres de longueur au plus, on a, avec les unités adoptées,

$$\log A = \bar{5},86650,$$
$$\log B = \bar{2},83950,$$
$$\log C = \bar{1},50114.$$

Ces deux dernières constantes paraissent ne point changer avec la longueur de la bobine, tant que le noyau la dépasse de plusieurs centimètres.

Dans la formule, l'arc est évalué en secondes;

L'unité de *force* est le *décigramme à Paris;*

L'unité de *longueur* le *décimètre;*

L'unité de *magnétisme* celui qui, appliqué en un point et agissant sur une égale quantité appliquée en un autre point à la distance d'*un décimètre,* produit une force d'*un décigramme;*

Enfin l'unité de *courant* celui qui dégage *un milligramme* d'hydrogène en *une seconde,* en décomposant l'eau.

Les unités précédentes sont préférables à celles de Gauss, au point de vue pratique, parce que ces dernières diffèrent trop des unités usuelles, pour qu'on se représente aisément leur grandeur. Elles ont aussi l'inconvénient de donner des nombres énormes pour les quantités de magnétisme habituelles. Ainsi un aimant ordinaire dont je me suis servi avait une quantité de magnétisme

$$199930$$

avec les unités de Gauss, et

$$2,019$$

avec les unités proposées.

Il est d'ailleurs aisé de passer d'une unité à l'autre. On trouvera dans un Mémoire des *Annales de Chimie et de Physique,* 4[e] série, t. XXVIII, p. 145, des exemples de conversion.

Méthode expérimentale. — Un conducteur voltaïque, formé d'un fil de métal isolé, enroulé plusieurs fois sur lui-même en forme d'anneau circulaire, est placé horizontalement. L'axe de figure de l'aimant ou de l'électro-aimant est vertical et passe par le centre de l'anneau. On doit mesurer l'action électromagnétique qui est développée par le courant entre l'anneau et l'aimant.

Pour déterminer le magnétisme d'un aimant ordinaire, on le

suspend verticalement à la balance, on place l'anneau au-dessous et l'on mesure l'action électromagnétique répulsive en unités de poids.

Pour un aimant très-lourd, ou un électro-aimant, on suspend l'anneau à une balance particulière et l'on place l'aimant au-dessous : on mesure encore avec des poids la force répulsive.

La balance électrodynamique se compose essentiellement de deux fléaux de balance liés entre eux invariablement, et isolés l'un de l'autre. Les deux couteaux disposés en ligne droite reposent respectivement sur deux plans d'acier, auxquels aboutissent les rhéophores. Le conducteur annulaire sur lequel doit agir l'aimant est suspendu à l'une des extrémités de ce double fléau, de façon que le courant entre par l'un des fléaux, passe dans le conducteur annulaire et sort par le second fléau.

Le lecteur trouvera la description complète de cet appareil dans le tome I des *Annales de Chimie et de Physique;* 1864 (Mémoire sur l'évaluation des forces électrodynamiques en unités de poids).

L'anneau est formé de 50 tours de fil de cuivre isolé, noyé dans la résine. La section du tore ainsi constitué est un carré de 12 millimètres de côté. Le rayon moyen R de l'anneau est de $106^{mm},3$.

Quand on opère avec un électro-aimant, on a deux pesées à faire : l'une mesure l'action de la bobine sans noyau; l'autre celle de la bobine avec noyau. En retranchant le premier poids du second, on a la force électromagnétique que je désignerai par F dans les formules suivantes.

Il est indispensable ou d'éviter que l'anneau modifie le magnétisme de l'aimant que l'on étudie, ou de tenir compte de cette modification. On diminue cette influence en plaçant l'aimant le plus loin possible de l'anneau, et l'on reconnaît qu'elle est négligeable par le procédé suivant :

Quand on renverse le sens du courant, on obtient une attraction au lieu d'une répulsion, et la force électromagnétique doit être la même dans les deux cas. Si l'influence n'est pas négligeable, la force répulsive est inférieure à la force attractive; en prenant la moyenne de ces deux observations, on tient compte de l'influence considérée.

Il est vrai que la mesure de l'attraction est moins facile que celle de la répulsion, à cause de l'instabilité de l'équilibre; néanmoins on peut en faire usage, parce que la correction est faible.

Dans les expériences faites avec les électro-aimants, on peut se mettre à l'abri de l'action de la terre et de celle de l'anneau sur le noyau, et aussi du magnétisme permanent de ce noyau par le procédé suivant :

Un conducteur annulaire, semblable à celui de la balance, est disposé au-dessous de l'électro-aimant, et sert de *compensateur*. On fait passer le courant dans ces deux anneaux en sens opposés, de façon qu'ils exercent, sur le noyau placé entre eux, des actions contraires.

Pour établir la compensation de toutes les actions perturbatrices, on remplace dans le circuit la bobine par un fil de même résistance; on place en bas le pôle austral actuel du noyau, dû au magnétisme permanent, afin que les effets du magnétisme terrestre et du magnétisme permanent s'ajoutent, et l'on fait passer le courant dans les deux anneaux dans un sens tel, que celui de la balance soit attiré par le noyau.

Les forces électromagnétiques mises en jeu sont alors celle du magnétisme produit par la terre, celle du magnétisme permanent, celle du magnétisme induit par l'anneau de la balance, celle du magnétisme induit par l'anneau compensateur, et enfin il y a l'action électrodynamique des deux anneaux. Le sens des trois premières est contraire à celui des deux dernières. En plaçant l'anneau compensateur à une hauteur convenable, on établit l'équilibre entre toutes ces forces, et tout se passe comme si le noyau était à l'état naturel.

Le compensateur étant réglé, on fait passer le courant dans la bobine dans un sens tel, que l'anneau de la bobine soit repoussé; la force répulsive observée n'a plus besoin de correction. Retranchant de cette force celle de la bobine sans noyau, on a l'effet du *magnétisme temporaire total,* développé par le courant de la bobine.

Soient :

F la force électromagnétique;

i l'intensité du courant qui traverse l'anneau;

n le nombre des tours du fil de cet anneau;

d la distance du milieu de l'aimant au centre de l'anneau;

R le rayon moyen de l'anneau;

m la quantité de magnétisme appliquée à chaque pôle;

$l = 2a$ la distance des deux pôles;

k un coefficient dépendant des unités adoptées.

En appliquant la formule connue de l'action d'un pôle sur un élément de courant

$$(1) \qquad f = k\frac{mi\,ds\sin\omega}{\rho^2},$$

on a

$$(2) \quad F = \frac{2nk\pi im}{R}\left\{\left[1+\left(\frac{d-a}{R}\right)^2\right]^{-\frac{3}{2}} - \left[1+\left(\frac{d+a}{R}\right)^2\right]^{-\frac{3}{2}}\right\},$$

ou bien, en remplaçant la parenthèse par P, fonction de a et d,

$$(3) \qquad F = \frac{2nk\pi imP}{R}.$$

Si l'on fait varier la distance d, on aura une seconde équation

$$(4) \qquad F' = \frac{2nk\pi imP'}{R},$$

d'où l'on tire

$$(5) \qquad \frac{F}{F'} = \frac{P}{P'}.$$

Si la variation de la distance est assez petite pour que la valeur de a soit sensiblement la même dans les deux cas, il suffit de mesurer directement F, F', d et d', et de connaître R, pour que l'on puisse tirer a de l'équation (5), en la résolvant par tâtonnements.

On tire ensuite m de l'équation (2) lorsque k est connu.

Détermination de la constante k. — On a mesuré m et a pour un barreau aimanté par la méthode de Pouillet (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* 2 novembre 1868); puis on a suspendu cet aimant verticalement à la balance ordinaire, au-dessus du centre de l'anneau horizontal, et l'on a mesuré en unités de poids la force électromagnétique. Toutes les quantités de la formule (2) étant connues, excepté k, on en tire cette dernière.

On a trouvé

$$k = 0{,}97.$$

Il résulte de la formule (1) que *la constante k est la force électromagnétique exercée entre un pôle ayant l'unité de magnétisme et un conducteur rectiligne indéfini, traversé par l'unité de courant, et situé à une distance du pôle double de l'unité.*

Augmentation de l'étincelle d'induction;
par M. C.-M. Guillemin.

Tout le monde connaît l'expérience qui consiste à mettre les deux armatures d'une bouteille de Leyde en communication avec les deux bouts du fil induit de la bobine. La longueur de l'étincelle est réduite dans des proportions considérables; mais son éclat et le bruit qu'elle fait sont au contraire augmentés.

J'ai voulu voir ce que produiraient de grandes surfaces métalliques isolées, mises en contact avec les deux bouts du fil induit, ces deux surfaces étant éloignées l'une de l'autre, de manière à ne point produire l'effet d'un condensateur.

Pour surfaces métalliques, j'ai pris des châssis ayant chacun près de 1 mètre carré, recouverts de toile, doublés de papier, sur lequel on a collé des lames d'étain. L'étincelle éclate entre deux pointes isolées, qu'on approche ou qu'on éloigne à volonté l'une de l'autre.

Lorsqu'une ou plusieurs lames d'étain communiquent avec l'un des pôles seulement, l'étincelle n'est nullement modifiée; mais, dès que l'autre pôle du fil induit est en contact avec des lames d'étain de même surface que les premières, l'éclat de l'étincelle augmente et sa longueur diminue. L'accroissement de surface produit un accroissement dans l'éclat et le bruit de l'étincelle, et une nouvelle diminution dans sa longueur. Si l'une des surfaces métalliques est plus grande que l'autre, l'effet ne dépasse pas celui que produiraient deux surfaces égales à la plus petite.

L'effet des lames devient plus sensible par le rapprochement des pointes de l'excitateur, et l'étincelle se décompose en un grand nombre de sillons de feu; mais, si l'on réduit la distance des pointes à 3 ou 4 centimètres, l'effet des surfaces semble disparaître.

Quand, au lieu de ces larges lames de métal, on se sert de fils métalliques ou de rubans de clinquant de 20 à 30 millimètres de largeur, bien isolés, au moyen de supports de verre ou de cordons de soie, on obtient, à égalité de surface, des effets beaucoup plus intenses. 50 mètres de ces rubans métalliques, mis en contact avec chaque bout du fil induit, faisant un total de 100 mètres, augmentent beaucoup l'éclat et le bruit de l'étincelle.

Plus la bobine est forte, plus l'effet est marqué; c'est ce que j'ai constaté récemment, au moyen d'un appareil puissant, que M. Ruhmkorff a bien voulu mettre à ma disposition. Il faut avoir soin, pour obtenir le plus grand effet possible, de faire communiquer les deux bouts du ruban métallique avec chaque pointe. Si le ruban était plus long, il faudrait établir un plus grand nombre de communications semblables.

En général les effets sont d'autant plus intenses que les surfaces métalliques isolées sont plus grandes, plus divisées, et que les différentes parties sont plus éloignées les unes des autres.

SÉANCE DU 28 MARS 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Gossin, censeur du Lycée de Marseille; Maréchal, professeur au Lycée de Marseille; Béthune, préparateur de physique au Lycée Saint-Louis, et Ogier, sont élus membres de la Société.

M. Potier expose ses recherches théoriques et expérimentales sur la réflexion de la lumière. Il établit par l'expérience que la réflexion s'effectue, non à la surface de séparation des deux milieux, mais dans l'épaisseur d'une couche à laquelle on ne peut substituer un plan que pour la lumière polarisée dans le plan d'incidence, la position de ce plan variant d'ailleurs avec la nature des milieux: ce qui s'explique en admettant une modification graduelle de l'état de l'éther dans le voisinage de la surface de séparation; et, de cette hypothèse justifiée, il déduit par l'analyse mathématique les formules de la polarisation elliptique.

M. Mascart indique quelques-unes des méthodes qu'il a employées pour déterminer les constantes des machines électriques ordinaires, c'est-à-dire, le débit d'une part, et d'autre part les différences de potentiel que ces machines établissent entre deux conducteurs. Il en montre diverses applications.

La séance est levée à 9 heures trois quarts.

SÉANCE DU 18 AVRIL 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures précises; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Un grand nombre de membres de la province assistent à la séance.

MM. Cabart, examinateur à l'École Polytechnique; G. Masson, le Dr Tripier; Laviéville, professeur à l'École de Cluny; Poiré, professeur au Lycée d'Amiens; Gay, professeur au Lycée d'Orléans; Bertholomey, professeur au Collége de Tulle; Lippmann, ancien élève de l'École normale; Henri Sainte-Claire Deville, membre de l'Institut; l'abbé Lebossé, professeur à l'Institution Richelieu de Luçon; le Dr Guérard; Archambault, professeur au Lycée Charlemagne; de Guillebon, sont élus membres de la Société.

M. Mascart expose divers phénomènes produits par l'étincelle électrique, en particulier, de la réfraction de l'étincelle par un liquide.

M. d'Almeida répète quelques-unes des expériences de M. Gernez, sur l'influence des gaz sur la production de l'ébullition.

M. Neyreneuf montre les effets attractifs ou répulsifs exercés sur une flamme par une pointe électrisée soit négativement, soit positivement.

M. Cornu décrit une méthode optique pour l'étude de la déformation de la surface des corps élastiques par l'emploi des anneaux colorés de Newton.

M. Guillemin répète quelques expériences sur l'influence des grandes surfaces métalliques sur l'étincelle d'induction.

La séance est levée à 10 heures un quart.

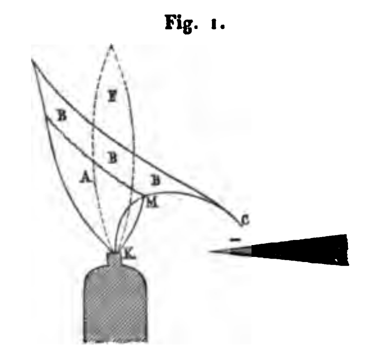
Différences d'effets des fluides positifs et négatifs;
par M. Neyreneuf.

Dans des recherches entreprises pour connaître l'action de l'électricité sur les gaz, j'ai été amené à soumettre à l'action d'une pointe

électrisée une flamme formée à l'orifice d'un bec conducteur, en parfaite communication avec le sol. Les apparences diffèrent beaucoup, suivant que la pointe est positive ou négative :

1° Avec une petite flamme (de la grandeur de celle d'une bougie),

Fig. 1.



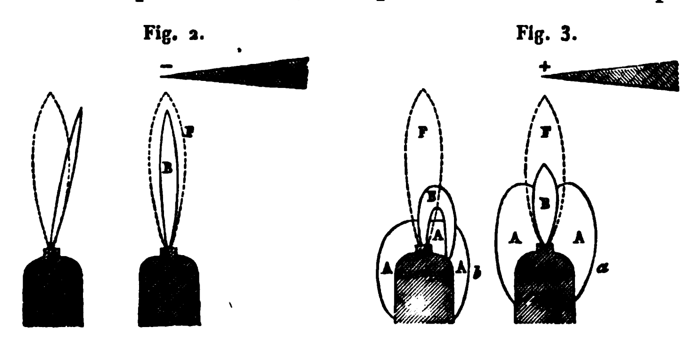
le vent électrique est, dans les circonstances ordinaires, beaucoup plus intense que si la flamme s'échappe d'un tube de verre effilé;

2° Avec une grande flamme (dimension double de la flamme précédente), un vent très-violent règne quand la pointe est positive. Si la pointe est négative, on a l'apparence de la *fig.* 1 :

F, forme de la flamme primitive;
MK, ouverture faite par le vent électrique;
A, partie bleue;
B, B, B, parties éclairantes;
C, langue de feu s'avançant vers la pointe.

3° Avec une petite flamme, mais placée au-dessous de la pointe,

Fig. 2. Fig. 3.



on note les apparences des *fig.* 2 et 3 : les différentes positions re-

SÉANCE DU 18 AVRIL 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures précises ; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Un grand nombre de membres de la province assistent à la séance.

MM. Cabart, examinateur à l'École Polytechnique ; G. Ma... le Dr Tripier ; Laviéville, professeur à l'École de Cl... Poiré, professeur au Lycée d'Amiens ; Gay, professeur au... d'Orléans ; Bertholomey, professeur au Collége de Tulle ; ... mann, ancien élève de l'École normale ; Henri Sainte-Deville, membre de l'Institut ; l'abbé Lebossé, professeur ... tution Richelieu de Luçon ; le Dr Guérard ; Arch... professeur au Lycée Charlemagne ; de Guillebon, sont é... bres de la Société.

M. Mascart expose divers phénomènes produits par ... électrique, en particulier, de la réfraction de l'étince... liquide.

M. d'Almeida répète quelques-unes des expérience... nez, sur l'influence des gaz sur la production de l'ébu...

M. Neyreneuf montre les effets attractifs ou répuls... une flamme par une pointe électrisée soit négativem... tivement.

M. Cornu décrit une méthode optique pour l'ét... mation de la surface des corps élastiques par l'em... colorés de Newton.

M. Guillemin répète quelques expériences s... grandes surfaces métalliques sur l'étincelle d'in...

La séance est levée à 10 heures un quart.

Différences d'effets des fluides positi...

par M. Neyreneuf.

Dans des recherches entreprises pour conn... tricité sur les gaz, j'ai été amené à soumettre...

ıode
ɪppa-

sur un
éles très-
oyer; mais
.mètre appa-
ges brillantes
.es obscures des

scope de Marseille
es, a réussi à voir
érer qu'on arrivera
ıpproximative le dia-

ıts.

MAI 1873.

M. FIZEAU.

es; le procès-verbal de la dernière

.imiste à Dornach, près Mulhouse;
seur de physique à Mulhouse; Wil-
ivil à Mulhouse; Joseph Rosenstheil,
ph Van Malderen; du Moncel; Chau-
ulté de Nancy; Duclos, professeur au
ommés membres de la Société.

latives de la flamme sont indiquées dans la *fig.* 3 par les lettres *a*, *b*. En A, A, partie bleue; en B, partie éclairante.

Avec une grande flamme, les apparences sont les mêmes d'une manière générale : le courant propre de la flamme s'opposant beaucoup plus que dans le cas des *fig.* 2 et 3 à l'écrasement et à l'attraction. Avec un bec de gaz à couronne, garni d'une galerie pour retenir le verre, le rabattement de la flamme est si intense que les gaz enflammés passent par l'ouverture centrale; dans ce cas, les pointes de la galerie influent sans doute pour amplifier le phénomène.

4° Avec un bec Bunsen, quand le brûleur marche, on n'obtient plus aucune des apparences des *fig.* 2 et 3.

5° Entre les deux plateaux d'un condensateur, les mêmes faits s'observent que dans la disposition indiquée plus haut; la flamme va du positif au négatif, quel que soit le plateau influençant.

6° La nature du gaz combustible n'influe pas : je n'ai rien remarqué de particulier, soit avec l'hydrogène, soit avec l'oxyde de carbone.

7° On peut conclure de tous ces faits que le sens de propagation de l'électricité paraît bien être du positif au négatif.

SÉANCE DU 25 AVRIL 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Francisco da Silva Benevides, professeur de physique à l'Institut Industriel de Lisbonne; Pernet, professeur au Lycée de Troyes; Lallemand, doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers; Charlier, professeur au Collége de Dunkerque; Neyreneuf, professeur au Lycée de Caen; Aubry, professeur au Collége de Chalon-sur-Saône; Alluard, professeur à la Faculté de Clermont-Ferrand; Garban, professeur au Lycée de Clermont-Ferrand; Masse, professeur au Collége de Brive; Lisleferme, ingénieur en retraite; Ruhmkorff, constructeur, sont élus membres de la Société.

M. Rédier présente à la Société un baromètre enregistreur de son invention, fondé sur le même principe que celui qu'il a installé depuis quelque temps au palais de la Bourse. M. Mascart décrit le mécanisme de cet instrument.

M. Lissajous présente le modèle d'une machine d'induction magnéto-électrique, imaginée par M. Joseph Van Malderen pour remplacer, dans les cabinets de physique, l'appareil de Clarke.

M. Fizeau expose en quelques mots le principe de la méthode qu'il a dernièrement indiquée pour la mesure des diamètres apparents jusqu'ici inappréciables, tels que ceux des étoiles.

Si l'on reçoit les rayons, émanés d'un point lumineux, sur un objectif masqué par un écran portant deux fentes parallèles très-écartées, des franges d'interférence se produisent au foyer; mais elles disparaissent quand la source de lumière a un diamètre apparent égal ou supérieur à l'angle pour lequel les franges brillantes produites par le centre coïncideraient avec les franges obscures des bords.

M. Stephan, observant Sirius avec le grand télescope de Marseille muni de deux fentes éloignées de 50 centimètres, a réussi à voir disparaître les franges : il y a donc lieu d'espérer qu'on arrivera prochainement à déterminer d'une manière approximative le diamètre apparent de cet astre.

La séance est levée à 9 heures trois quarts.

SÉANCE DU 9 MAI 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Gustave Schaeffer, chimiste à Dornach, près Mulhouse; Théodore Schneider, professeur de physique à Mulhouse; William Grossetête, ingénieur civil à Mulhouse; Joseph Rosenstheil, chimiste à Mulhouse; Joseph Van Malderen; du Moncel; Chautard, professeur à la Faculté de Nancy; Duclos, professeur au Collége de Béziers, sont nommés membres de la Société.

M. d'Almeida présente, au nom du bureau de la Société, un projet de fondation d'une bibliothèque circulante, permettant de mettre les principales Revues scientifiques à la disposition des membres de la Société. Il est décidé par un vote que, dès à présent, trois Revues seront mises en circulation.

M. Bourget expose la théorie des sons produits par l'échauffement des tubes thermométriques. Ces sons ont été étudiés pour la première fois, par Pinaud, en 1831. Les lois expérimentales ont été trouvées d'abord par lui et plus tard plus complétement par Sondhaus.

M. Bourget a montré que ces phénomènes se rattachent naturellement à la théorie des tuyaux à cheminée. Il a donné des formules qui s'appliqueraient à des tubes de dimensions quelconques et qui, dans le cas particulier des tubes de Pinaud, se réduisent précisément aux formules empiriques de Sondhaus.

MM. Champion, Pellet et Grenier présentent l'instrument qu'ils appellent *spectronatromètre* et qui permet de donner par une méthode spectrométrique la quantité de soude renfermée dans une dissolution. Cet appareil est fondé sur la désensibilisation de la raie *D*, par un prisme coloré qui permet d'amener l'intensité de la raie au degré voulu. Un bec spécial, placé sur le côté du spectroscope, et destiné à produire une flamme constante, imprégnée de soude, fournit une seconde raie appelée *témoin*, et qui sert de terme de comparaison. Les solutions de soude qui servent à titrer l'appareil sont introduites à l'avance dans une série de tubes bouchés dans lesquels on plonge un fil de platine que l'on fait passer par un mouvement continu et régulier dans une flamme plate placée en face du spectroscope.

La fixité des flammes est obtenue à l'aide de régulateurs Giroud et l'appareil est soustrait à l'influence des courants d'air par une cage en verre.

En raison de la difficulté de comparaison de deux teintes jaunes, les flammes sont entourées de cheminées destinées à soustraire l'œil de l'observateur à leur influence.

Les observations doivent se pratiquer dans l'obscurité, ainsi que cela a lieu pour le saccharimètre.

La séance est levée à 9 heures trois quarts.

Théorie des expériences de Pinaud, relatives aux sons rendus par les tubes chauffés; par M. J. Bourget.

Pinaud, professeur de Physique à Toulouse, a étudié, en 1835 (¹), un phénomène acoustique remarquable, qui se produit quand on laisse refroidir un tube thermométrique à l'extrémité duquel est soufflée une boule. Si, après avoir chauffé assez fortement la boule, on la retire de la flamme, l'air extérieur, en rentrant par le tube, produit parfois un son très-pur.

Pinaud s'est attaché à trouver les circonstances les plus favorables à la production du phénomène, et il a cherché la liaison qui existe entre la hauteur du son et les divers éléments de l'appareil. Dans son Mémoire, il formule ainsi les trois lois générales auxquelles il est arrivé :

1° Le son produit par un tube de verre terminé par une boule échauffée est d'autant plus grave que le tube est plus long, toutes choses égales d'ailleurs.

2° La longueur et le diamètre du tube restant les mêmes, le son est d'autant plus grave que la boule a un plus grand diamètre.

3° Toutes choses égales d'ailleurs, le son produit est d'autant plus aigu que le tube a un plus grand diamètre.

Pinaud a cherché ensuite une formule empirique donnant le nombre des vibrations sonores en fonction de la longueur du tube, de son rayon et du rayon de la boule. En désignant par n le nombre des vibrations complètes, par l la longueur du tube, par r son rayon, par R celui de la boule, enfin par C un coefficient constant, il a trouvé qu'on pouvait prendre

$$n = C \frac{r^\alpha}{l^\beta R^\gamma},$$

α, β, γ étant des constantes données par l'expérience. Son Mémoire n'indique pas les résultats qu'il a trouvés.

Les expériences de Pinaud ont été répétées, d'abord par C. Marx (²), puis par Sondhaus (³). Ce dernier a donné une for-

(¹) *Institut,* t. III, p. 366; 1835.

(²) *Erdmann's Journal für praktische Chemie,* t. XXII, p. 129; 1841.

(³) *Annales de Poggendorff,* t. LXXIX, p. 1; 1850. — *Ibid.,* t. CXL, 53-76 et

mule très-simple pour déterminer le nombre n des vibrations doubles de l'appareil. En nommant V le volume de la boule, L la longueur du tube thermométrique, S sa section, il trouve empiriquement

$$n = C\sqrt{\frac{S}{VL}};$$

C est une constante égale environ à 52,2, si le mètre est pris pour unité de longueur.

Sondhaus a été plus loin, il a étudié le cas de plusieurs tubes soudés au même réservoir. Si deux tubes égaux sont soudés à une boule aux extrémités du même diamètre, il suppose qu'il se forme un plan nodal perpendiculaire à la ligne des tubes, et qui divise la boule en deux parties égales de volume $\frac{V}{2}$, de telle sorte qu'on doit avoir

$$n = C\sqrt{\frac{2S}{VL}};$$

cette formule empirique est encore d'accord avec l'expérience.

Dans le cas où plusieurs tubes (S, L), (S′, L′), (S″, L″),... sont soudés à un même réservoir V, Sondhaus, se fondant sur le même principe, écrit, pour ce système complexe,

$$n = C\sqrt{\frac{\frac{S}{L} + \frac{S'}{L'} + \frac{S''}{L''}}{V}}.$$

Les expériences qu'il rapporte, faites pour le cas de trois ou quatre tubes, sont peu nombreuses et peu concluantes, parce que l'appareil ne vibrait qu'avec beaucoup de difficultés.

Je me suis proposé de trouver les lois véritables des phénomènes observés par Pinaud et Sondhaus.

Tout d'abord, il est facile de reconnaître par expérience que la hauteur du son n'est pas due au mode employé pour le produire, mais seulement à la forme de l'appareil. Le procédé de Pinaud exige d'assez grandes précautions, et il est capricieux dans ses résultats. J'ai pu facilement exciter les vibrations des tubes à réservoir au

219-242. — M. Bertin a résumé le travail de Sondhaus dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXV, p. 207; 1872.

moyen d'une flamme d'hydrogène, comme on le fait dans les tubes ouverts. De quelque façon que le son soit produit, l'appareil donne toujours la même note. Toutefois, si l'on se sert de la flamme d'hydrogène, l'air de l'appareil change bientôt de densité et le son est modifié; il faut avoir soin de l'étudier dans les premiers instants seulement. Ainsi, dans ces expériences, ce qu'il y a de vraiment intéressant, ce n'est pas le mode d'ébranlement de l'air dans l'appareil : tout écoulement gazeux est accompagné de mouvements périodiques qui peuvent, dans des circonstances favorables encore obscures, faire vibrer une masse d'air limitée. Masson, dans son grand travail sur les tuyaux sonores, n'a pas employé d'autre procédé pour exciter les vibrations; mais il m'a paru important de rattacher les résultats de Pinaud et de Sondhaus à la théorie générale des tuyaux sonores.

Le tube de Pinaud, le double tube de Sondhaus peuvent être considérés comme des tuyaux à cheminée d'une forme particulière; on appelle ainsi des tuyaux formés de deux parties de diamètres différents. Il m'a donc été facile d'aborder la théorie de ces appareils, en suivant la marche tracée par Duhamel; cette théorie a d'ailleurs la plus grande analogie avec celle des vibrations d'une corde formée de plusieurs parties diverses de nature (*Annales de l'École Normale*, 1[re] série, t. IV; 1867). Voici les résultats que j'ai obtenus :

J'ai supposé les réservoirs cylindriques; le problème est plus facile à résoudre, et les expériences de Sondhaus montrent que la forme des réservoirs est à peu près indifférente, pourvu que leur volume soit le même, au moins quand leur capacité ne dépasse pas certaines limites.

J'appelle

a la vitesse du son dans le réservoir;

S sa section;

l sa longueur;

a' la vitesse du son dans le tube plus étroit;

S' sa section;

l' sa longueur;

N le nombre des vibrations doubles du son fondamental;

λ une constante telle que

$$N = \frac{\lambda}{2\pi}. \tag{1}$$

J'ai trouvé, pour déterminer la constante λ, qui convient au son fondamental et aux diverses harmoniques de l'appareil, formé d'un réservoir fermé suivi d'un tube, l'équation transcendante

$$\tan \frac{\lambda l}{a} \tan \frac{\lambda l'}{a'} = \frac{a}{a'} \frac{S'}{S}. \tag{2}$$

Sans résoudre cette équation, on voit que :

1° λ augmente si S' augmente : toutes choses égales d'ailleurs, c'est la troisième loi de Pinaud;

2° λ diminue si S augmente : c'est la seconde loi de Pinaud;

3° λ diminue si l' augmente : c'est la première loi de Pinaud;

4° λ diminue si l augmente : c'est un résultat conforme à la seconde loi de Pinaud.

Si l'on suppose maintenant que l'on se place dans des conditions telles que $\frac{S'}{S}$ soit très-petit (c'est le cas des tubes de Pinaud), les arcs $\frac{\lambda l}{a}$, $\frac{\lambda l'}{a'}$ seront petits et pourront remplacer leurs tangentes : l'équation précédente deviendra donc, pour la valeur de λ qui correspond au son fondamental,

$$\frac{\lambda^2 l l'}{a a'} = \frac{a}{a'} \frac{S'}{S},$$

d'où

$$\lambda^2 = a^2 \frac{S'}{S l l'} = a^2 \frac{S'}{V l'},$$

en appelant V le volume du réservoir. On arrive donc à la formule approximative

$$N = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{S'}{V l'}}. \tag{3}$$

Cette formule est précisément celle de Sondhaus, sauf la différence des notations. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que l'on obtient la valeur théorique de la constante C, qu'il a déterminée par expérience. Si l'on prend pour a le nombre 333 mètres, on a

$$\frac{a}{2\pi} = 52,8.$$

Donc, si l'on diminue un peu le nombre a, comme on doit toujours

le faire dans la théorie des tuyaux, on retombe exactement sur la constante 52,2 de Sondhaus. Ce résultat me semble confirmer, d'une manière remarquable, la justesse de la théorie que je propose.

J'ai pu traiter aussi le cas d'un réservoir portant deux tubes : en appelant

S, l, V les dimensions du premier tube;
S', l', V' les dimensions du réservoir;
S'', l'', V'' les dimensions du second tube;
a, a', a'' les vitesses du son dans chacun des appareils,

j'arrive, pour la détermination de la constante λ, qui donne le son fondamental et les divers harmoniques, à l'équation transcendante suivante :

$$(4)\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{1}{aS}\,\text{tang}\,\frac{\lambda l}{a} + \frac{1}{a'S'}\,\text{tang}\,\frac{\lambda l'}{a'} + \frac{1}{a''S''}\,\text{tang}\,\frac{\lambda l''}{a''} \\ &\qquad - \frac{a'}{aa''}\,\frac{S'}{SS''}\,\text{tang}\,\frac{\lambda l}{a}\,\text{tang}\,\frac{\lambda l'}{a'}\,\text{tang}\,\frac{\lambda l''}{a''} = 0. \end{aligned}\right.$$

Dans le cas où S et S'' sont petits par rapport à S', comme dans les expériences de Pinaud et de Sondhaus, on peut encore remplacer les tangentes par les arcs et, en admettant aussi que a, a', a'', qui sont peu différents, soient égaux, on obtient enfin

$$\lambda^2 = a^2\,\frac{\dfrac{S}{l} + \dfrac{S''}{l''} + \dfrac{l'^2}{l^2 l''^2}\,\dfrac{VV''}{V'}}{V'},$$

ou bien, en négligeant encore le dernier terme qui est très-petit,

$$\lambda^2 = a^2\,\frac{\dfrac{S}{l} + \dfrac{S''}{l''}}{V'},$$

d'où

$$(5)\qquad N = \frac{a}{2\pi}\sqrt{\frac{\dfrac{S}{l} + \dfrac{S''}{l''}}{V'}},$$

pour le son fondamental : c'est la formule trouvée empiriquement par Sondhaus.

En généralisant ce système, on peut imaginer un appareil qui

serait formé d'une suite de tubes étroits, séparés par un renflement. Mon analyse s'étend facilement à l'étude des lois du son donné par un pareil ensemble. J'ai trouvé, pour trois tubes et deux renflements, la formule approximative suivante :

$$N = \frac{a}{2\pi}\sqrt{\frac{\frac{S}{l}+\frac{S''}{l''}}{V'}+\frac{\frac{S''}{l''}+\frac{S^{\text{iv}}}{l^{\text{iv}}}}{V'''}};$$

(S, l), (S'', l''), $(S^{\text{iv}}, l^{\text{iv}})$ sont les dimensions des tubes; V', V''' sont les volumes des réservoirs.

Si l'on suppose, en particulier,

$$\frac{S}{l}=\frac{S^{\text{iv}}}{l^{\text{iv}}}$$

et

$$V'=V''',$$

on trouve

$$N=\frac{a}{2\pi}\sqrt{2}\sqrt{\frac{\frac{S}{l}+\frac{S''}{l''}}{V'}};$$

donc *le son rendu par ce nouvel appareil serait à peu près un fa* relativement au son rendu par celui de Sondhaus,* étudié précédemment.

Si l'on suppose

$$\frac{S}{l}=\frac{S''}{l''}=\frac{S^{\text{iv}}}{l^{\text{iv}}} \quad \text{et} \quad V'=V''',$$

on obtient

$$N=2\frac{a}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{Vl}}.$$

Donc *le son rendu par cet appareil serait exactement l'octave aiguë du son rendu par l'un des tubes fixé à l'extrémité d'un des réservoirs fermé.*

En résumé, la théorie des tuyaux à cheminée donne l'explication complète des faits observés par Pinaud, Marx, Sondhaus, et elle conduit à la démonstration des formules empiriques trouvées par Sondhaus pour le nombre des vibrations du son fondamental dans les divers cas.

SÉANCE DU VENDREDI 23 MAI 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Vimercati, directeur de la *Revistà scientifico-industriale* (Florence); Delestrée, professeur au Lycée de Mont-de-Marsan; Boulant, professeur au Lycée d'Alençon; Gouillaud, professeur à la Faculté de Besançon; A.-L. Ternant, représentant de la Compagnie de l'*Eastern Telegraph*, à Marseille; Laplaiche, professeur au Lycée de Vendôme, sont nommés membres de la Société.

Sur la proposition de M. le Président, la nomination du Conseil est mise à l'ordre du jour pour la prochaine séance. Il est ensuite décidé que les trois journaux scientifiques qui pourront être envoyés à ceux des membres de la Société qui en feront la demande, conformément à la décision prise dans la dernière séance sur la fondation d'une bibliothèque circulante, seront les suivants : *Annales de Chimie et de Physique, Philosophical Magazine* et *Annales de Poggendorff*.

M. Jamin résume ses travaux récents sur la distribution du magnétisme et la construction des aimants. Il décrit et présente les appareils qui lui ont servi à mesurer la quantité de magnétisme existant dans une région donnée par la force nécessaire pour arracher une petite masse constante de fer doux. Il insiste sur la nécessité d'employer, dans la construction des aimants puissants, des lames d'acier assez minces pour que l'action de la trempe se produise dans toute leur épaisseur et non pas seulement sur les molécules de la surface, comme cela a lieu pour les barreaux épais. Il met sous les yeux de la Société un aimant en fer à cheval, composé d'un grand nombre de lames minces aimantées à saturation par la pile et assemblées ensuite au moyen d'une armature sur laquelle s'appuient leurs extrémités.

Cet aimant peut porter plus de vingt fois son poids, c'est-à-dire 800 kilogrammes.

M. Mercadier présente ensuite un diapason dont le mouvement

vibratoire est entretenu électriquement avec une parfaite régularité. Les vibrations de cet instrument tracées sur un papier enfumé peuvent permettre d'apprécier des 512èmes de seconde représentés sur le graphique par des longueurs de 3 millimètres. La durée des vibrations est indépendante de l'intensité de la pile, de la distance de l'électro-aimant et de sa hauteur le long de la branche qui est en face de lui : il suffit donc d'avoir déterminé, une fois pour toutes, la hauteur du son rendu par le diapason, pour avoir un chronographe d'une précision bien supérieure à celle des instruments du même genre employés jusqu'ici.

La séance est levée à 10 heures.

SÉANCE DU 13 JUIN 1873.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures; le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Luciani, professeur au Collége d'Ajaccio; Tortel, professeur au Lycée de Grenoble; Desprats, professeur au Collége de Lodève; Arnoye, professeur au Collége de Castelsarrazin; Brunhes, professeur au Lycée de Toulouse; H. Fontaine, ingénieur; A. Villiers, sont nommés membres de la Société.

On procède à l'élection des membres qui doivent former le conseil. Après que les votes ont été recueillis, M. le président propose d'en confier le dépouillement au bureau, qui fera connaître le résultat dans la prochaine réunion, le travail qu'exige cette opération dépassant la durée entière de la séance.

M. Salet expose ses recherches sur les spectres multiples des corps simples, gazeux ou à l'état de vapeur. Il fait voir que l'on peut obtenir les spectres primaires du soufre et de l'iode dans des tubes de Geissler où ne pénètre aucun fil de platine, et pourvus seulement d'armatures métalliques extérieures qui enveloppent leurs extrémités et qu'on met en rapport avec les pôles de la bobine. Il conclut qu'on ne peut douter de l'existence des deux sortes de spectres, au moins pour le soufre, le brome et l'iode. Ce dernier

corps notamment peut fournir, quand on le chauffe ou lorsqu'on l'illumine par le passage d'un courant, un spectre d'émission qui est l'inverse de son spectre d'absorption et est caractérisé par des bandes tout à fait distinctes des lignes produites par l'étincelle disruptive.

M. A. Cazin présente l'appareil à l'aide duquel il a observé les étincelles multiples que donne la bobine d'induction dans diverses circonstances, particulièrement lorsque les pôles de cette bobine sont en communication avec les armatures d'un condensateur.

L'étincelle éclate au foyer d'une lentille placée près du bord d'un disque de carton présentant des fentes équidistantes. De l'autre côté du disque est une lunette microscope, dans laquelle on regarde la partie du bord éclairée par la lentille. Le disque étant animé d'une vitesse de rotation très-modérée, chaque fente donne, au moment où l'étincelle jaillit, plusieurs traits brillants, d'où il résulte que cette étincelle est composée de plusieurs filets lumineux successifs. Quand on diminue l'intervalle des électrodes, le nombre des traits augmente graduellement. M. A. Cazin indique la méthode dont il a fait usage pour mesurer exactement ce nombre; il a reconnu qu'il pouvait atteindre plusieurs centaines.

La séance est levée à 10 heures un quart.

Sur les étincelles électriques composées; par M. A. Cazin.

J'appelle *étincelles composées* les étincelles à plusieurs branches que l'on aperçoit fréquemment avec la bobine de Ruhmkorff, surtout lorsque les pôles de la bobine communiquent avec les armatures d'une bouteille de Leyde, ou d'une suite de bouteilles disposées en cascade, ou bien, comme dans les expériences récentes de M. Guillemin, avec de grandes surfaces métalliques éloignées l'une de l'autre.

J'ai reconnu que les traits lumineux qui composent le faisceau jaillissent successivement et que leur nombre peut atteindre plusieurs centaines par le simple rapprochement des électrodes.

Voici le principe de la méthode expérimentale que j'ai suivie. L'étincelle éclate au foyer d'une lentille convergente, qui envoie la lumière parallélisée sur le bord d'un disque de carton tournant au-

tour de son centre. Sur ce bord sont découpées des fentes équidistantes dirigées suivant les rayons du disque, et aussi étroites que possible. De l'autre côté du disque est fixé un diaphragme percé d'une ouverture, dont la largeur est égale à la distance des deux fentes du disque mobile, et qui se trouve sur le trajet des rayons envoyés par la lentille à travers les fentes. L'appareil est installé dans une chambre obscure et l'on observe l'ouverture du diaphragme avec une lunette. Lorsqu'une étincelle simple éclate au foyer de la lentille, on ne voit dans la lunette qu'une seule fente du disque tournant. Lorsque l'étincelle est *composée,* on aperçoit la fente mobile, qui passe derrière l'ouverture, dans les diverses positions qu'elle occupe au moment où jaillissent les filets lumineux qui composent l'étincelle. On voit donc plusieurs traits brillants, et leur nombre est celui des étincelles simples qui jaillissent pendant la durée du passage d'une division du disque tournant. L'emploi du diaphragme évite la fatigue que l'œil éprouve, lorsqu'on voit dans le champ de la lunette plusieurs divisions du disque à la fois, et permet de compter plus aisément le nombre des traits brillants.

Pour préciser les conditions dans lesquelles j'ai opéré, je vais décrire complétement une de mes expériences.

Les électrodes sont formées par deux boules de platine de 7 millimètres de diamètre, dont la distance peut être mesurée à l'aide d'une vis micrométrique. Le disque tournant a 22 centimètres de diamètre et porte 48 divisions. Chaque fente a une largeur de $\frac{1}{10}$ de millimètre environ. Le mouvement est produit par une petite machine électromagnétique de Froment, munie d'un compteur de tours.

Le disque faisant en une minute 38,78 tours, la durée du passage d'une fente derrière l'ouverture du diaphragme fixe est

$$\frac{60}{38,70 \times 48} = 0^s,0322.$$

L'étincelle est produite par une bobine de Ruhmkorff de dimension moyenne. Le courant inducteur est réglé de façon que l'étincelle ait, pour sa plus grande longueur, à l'ouverture du circuit inducteur, 15 centimètres.

On met les pôles de la bobine en communication, d'une part avec les boules de décharge, d'autre part avec les armatures ex-

trêmes d'une cascade de trois jarres. Chaque jarre a une armature extérieure de 1240 centimètres carrés environ.

On ferme et l'on ouvre à la main le circuit inducteur, à l'aide d'une tige de fer et d'une couche de mercure qui communiquent respectivement avec les pôles de la pile et avec les armatures du condensateur de la bobine.

Voici les effets observés à l'ouverture du circuit inducteur :

Distances des boules.

mm

7 pas d'étincelle.

6 un trait brillant.

5 un trait brillant.

4 deux traits.

3 trois traits.

2 cinq à six traits ; l'intervalle des traits extrêmes est le quart d'une division du disque : on en conclut que la durée de la décharge totale est

$$\frac{0,0322}{4} = 0^s,008.$$

1,46 une dizaine de traits dans un espace égal au tiers d'une division du disque ; durée de la décharge totale

$$\frac{0,0322}{3} = 0^s,011.$$

0,62 nombreux traits dans un espace égal à la moitié d'une division ; durée de la décharge totale

$$\frac{0,0322}{2} = 0^s,016.$$

0,21 traits plus nombreux occupant les trois quarts d'une division ; durée de la décharge totale

$$\frac{0,0322 \times 3}{4} = 0^s,024.$$

Des effets analogues ont été observés à la fermeture du circuit inducteur, mais seulement lorsque les boules sont plus rapprochées l'une de l'autre. Ainsi :

A la distance $0^{mm},62$, il y avait trois ou quatre traits à la fermeture.
A la distance $0^{mm},21$, il y avait de nombreux traits occupant la moitié d'une division.

Pour évaluer le nombre d'étincelles successives constituant l'étincelle composée, lorsque ce nombre est considérable, j'ai eu recours à l'artifice suivant :

On fait tourner le disque avec une vitesse assez grande pour que la durée du passage d'une fente derrière l'ouverture du diaphragme soit une fraction, assez petite et connue, de la durée de la décharge totale et l'on compte le nombre de traits vus dans la lunette. Soient n ce nombre et t la durée du passage de la fente, le temps qui s'écoule entre deux étincelles consécutives est en moyenne $\frac{t}{n}$. Si l'on divise par cette quantité la durée de la décharge totale, on aura une valeur approchée du nombre des étincelles simples composant cette décharge.

Exemple de cette détermination : un disque de carton de 96 divisions tourne avec une vitesse de 201 tours par minute. Une division passe ainsi dans le temps

$$\frac{60}{201 \times 96} = 0^{s},0031 = t.$$

Les boules étant espacées de $0^{mm},42$, on observe dans la lunette, à l'étincelle d'ouverture, cinq groupes de traits brillants, composés de quatre ou cinq traits chacun, et séparés par des intervalles obscurs. En admettant quatre traits par groupe, on a, au minimum, $n = 20$ étincelles dans le temps

$$t = 0^{s},0031 ;$$

ce qui donne une étincellé par chaque intervalle de temps égal à

$$\frac{t}{n} = 0^{s},00015.$$

D'après la première série d'expériences, la durée de la décharge totale est de $0^{s},02$ environ.

Le nombre des étincelles simples composant la décharge est donc, au minimum,

$$\frac{0,02}{0,00015} = 133.$$

Quand la distance des boules est inférieure à $0^{mm},42$, le nombre des subdivisions de l'étincelle composée est beaucoup plus grand.

En répétant l'expérience précédente avec un disque de 180 fentes effectuant 33 tours par seconde, j'ai observé jusqu'à six traits brillants dans la largeur d'une division du disque, ce qui conduit à 537 étincelles simples dans l'étincelle composée. La distance des boules était $0^{mm},21$.

On peut conclure de ces expériences que, *lorsque la distance des électrodes décroît, le nombre des étincelles simples qui composent la décharge totale croît graduellement de 1 à plusieurs centaines.*

Les deux premières étincelles sont beaucoup plus espacées que les suivantes, qui m'ont paru se resserrer très-rapidement, en se groupant comme on l'a vu précédemment.

J'ai mesuré très-exactement la durée qui sépare les deux premières étincelles, en réglant la vitesse du disque, de façon que la distance des deux premiers traits fût d'une demi-division. Le disque de 96 divisions donnait cet effet, avec une vitesse de 153 tours par minute. La durée du passage d'une division était donc

$$\frac{60}{153 \times 96} = 0^{s},0041,$$

et l'intervalle des deux premières étincelles était

$$\frac{0,0041}{2} = 0^{s},0020.$$

L'expérience était très-facile avec des boules écartées de $3^{mm},12$, l'étincelle composée ne contenant que deux étincelles simples; lorsqu'on en avait un plus grand nombre la distance des deux premiers traits m'a paru rester constante. Quand on avait trois étincelles simples, la distance du deuxième au troisième trait m'a paru être la moitié de celle du premier au deuxième; cette distance était aussi indépendante du nombre des étincelles.

Le nombre des subdivisions de l'étincelle composée augmente, quand on remplace les boules par des pointes; il diminue, au contraire, lorsqu'on augmente le diamètre des boules.

Parmi les circonstances qui influent sur la constitution de l'étincelle, je signalerai encore le mode de réunion de la cascade avec les pôles de la bobine.

Au lieu de réunir, par un conducteur continu, l'armature intérieure extrême de la cascade avec un des pôles de la bobine, comme cela avait lieu dans les expériences précédentes, j'ai laissé entre le conducteur attaché à ce pôle et le bouton de l'armature un certain intervalle, afin de charger par étincelles les bouteilles, comme on le fait avec une machine électrique ordinaire. La cascade se déchargeait d'ailleurs par les boules de platine, comme précédemment.

L'étincelle de charge ayant environ 4 centimètres de longueur, on a fait décroître la distance des boules de décharge de 10 millimètres à $0^{mm},42$ et l'on a vu le nombre des subdivisions de l'étincelle de décharge croître de 1 à 12.

Dans une autre expérience, on a maintenu la distance des boules égale à $0^{mm},42$ et l'on a fait décroître l'étincelle de charge de 6 à 1 centimètre. Le nombre des subdivisions de la décharge a crû de 1 à 50 environ.

J'ai répété les mêmes expériences en chargeant la cascade par l'étincelle d'une machine électrique ordinaire, et je n'ai observé qu'une étincelle simple à chaque décharge.

Il résulte de là que l'induction joue le principal rôle dans la production des étincelles composées que j'ai observées.

Le phénomène que je viens de décrire est analogue à celui qu'a récemment observé M. Nyland, en étudiant l'effet mécanique de l'étincelle d'induction, lorsqu'elle éclate à travers une feuille de papier en mouvement. Ce savant a compté un grand nombre de trous successifs, qui me paraissent correspondre aux étincelles successives dont je viens de donner la description (*Journal de Physique,* avril 1872; *Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles,* t. V). Il y a pourtant une différence assez importante. M. Nyland a obtenu le plus grand nombre de trous avec l'étincelle directe de la bobine, sans bouteille de Leyde; quant à moi, je n'ai observé que des étincelles simples dans ces circonstances.

Une étude attentive de toutes ces particularités pourra fournir des données fort utiles à la théorie de l'électricité : je me propose de la poursuivre.

---

862 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

De la Spectrométrie; spectronatromètre; par MM. P. Champion, H. Pellet et M. Grenier.

I.

Parmi les méthodes à l'aide desquelles on peut déterminer la présence des corps simples isolés ou à l'état de combinaison chimique, l'analyse spectrale seule permet d'arriver en quelques instants à des résultats certains, même lorsqu'on agit sur des quantités impondérables de matière. Ce procédé analytique, qu'on applique à l'étude du gaz, permet en outre d'établir des caractères distinctifs pour des composés organiques, tels que la chlorophylle, l'alizarine, etc. Entre les mains du chimiste, le spectroscope est assurément l'un des instruments les plus précieux, et chaque jour on découvre de nouvelles applications de cette méthode optique.

L'emploi du spectroscope est-il limité à l'analyse qualitative? Ses indications ne peuvent-elles conduire à des dosages et à abréger, dans un grand nombre de cas, les procédés chimiques d'analyse qui ne permettent pas toujours d'apprécier de faibles quantités de substances? C'est du moins ce qu'avait pensé M. Janssen, dont on connaît les remarquables travaux sur la spectroscopie. Dès 1869 ce savant indiquait un procédé de recherche de la soude dans lequel il se mettait à l'abri des erreurs résultant de la présence de ce corps dans l'atmosphère. Il substituait des flammes très-lumineuses aux flammes peu éclairantes d'un bec Bunsen : « En effet, tandis qu'on aperçoit presque toujours la raie du sodium dans la partie bleue et transparente d'un bec de gaz, on ne la trouve plus dans la partie la plus lumineuse, cause de l'abondance des rayons qui avoisinent la raie du sodium dans cette région [1]. »

En 1870, alors que, chargés par Payen du dosage de la soude dans les cendres des végétaux, nous constations les difficultés qu'offre la séparation de la soude et de la potasse, M. Janssen voulut bien

---

[1] *Comptes rendus de l'Académie,* séance du 7 novembre 1870.

faire quelques essais avec nous au Conservatoire des Arts et Métiers et nous mettre au courant de ses savantes observations : tel fut le point de départ de nos recherches.

Dans nos premiers essais nous avons tenté, d'après les indications de M. Janssen, de fonder une méthode de dosage de la soude à l'aide de vingt-quatre flammes éclairantes parallèles, et le fil de platine plongé dans des solutions titrées de chlorure de sodium était introduit à la main, et successivement, dans chacune des flammes, tandis que l'un de nous constatait, avec le spectroscope, le moment où la raie D disparaissait.

Après de nombreux essais, nous fûmes arrêtés par les difficultés que présentait ce mode d'analyse, dans lequel l'intensité lumineuse produite par la soude décroît rapidement. D'ailleurs ce nombre considérable de flammes ne permettait d'agir que sur quelques solutions en raison de la faible absorption produite par chacune d'elles. C'est alors que, renonçant à ce procédé, nous substituâmes d'abord aux flammes éclairantes une série de verres colorés, puis des liquides doués de couleurs absorbantes. Ces liquides étaient renfermés dans un appareil analogue au décolorimètre Payen. Sur l'avis bienveillant de M. Janssen, nous adoptâmes enfin un prisme formé de lames de verre et contenant le liquide désensibilisateur.

Lorsqu'un fil de platine imprégné de soude est introduit dans une flamme, l'intensité lumineuse diminue progressivement avec la volatilisation du sodium. Elle varie du reste avec le diamètre et la position du fil et s'oppose à toute appréciation précise. Nous avons pensé qu'on obtiendrait une intensité constante en employant une flamme non éclairante et aplatie, afin d'échauffer une longueur plus considérable de fil, et en faisant passer ce dernier, par un mouvement uniforme, dans une partie déterminée, invariable de la flamme.

C'est ce que l'expérience a confirmé.

La limite de désensibilisation à laquelle il convient de s'arrêter est, on le conçoit, de la plus grande importance : elle varie avec chaque observation et, une fois déterminée, s'efface rapidement de la mémoire.

Il était donc nécessaire de disposer, à côté de la raie D, une seconde raie constante pouvant servir de témoin et chercher

l'égalité des deux teintes, ainsi que cela a lieu dans le polarimètre de M. Cornu.

Après avoir essayé en vain les verres colorés éclairés par une flamme, nous avons eu recours à la lumière émise par la soude elle-même.

Cela posé, on comprendra facilement l'usage des organes qui composent notre appareil ([1]).

II.

L'appareil se compose de deux parties distinctes :

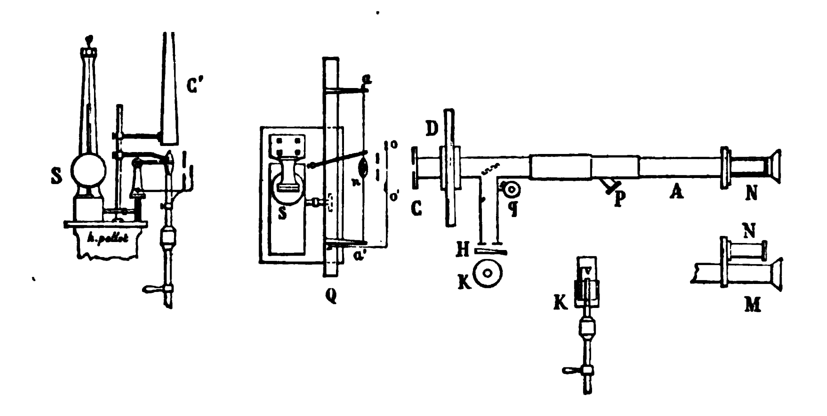
1° Soient A un spectroscope, dont la fente verticale C est de dimension variable, D une lame de verre bleu prismatique, compensateur qui sert à désensibiliser l'intensité de la flamme sodique *n* et dont le mouvement est commandé par un pignon. Ce prisme porte une échelle mobile.

Témoin. — En H se trouve un tube de cuivre portant une fente, dont on peut régler à volonté l'écartement et la position en regard du bec témoin K. Les rayons qui émanent du témoin, rencontrant une glace placée à 45 degrés dans le spectroscope, s'y réfléchissent pour traverser ensuite le prisme, comme le feraient des rayons directs, et vont éclairer d'une lumière jaune constante la moitié droite du champ de l'instrument, la moitié gauche devant être éclairée par la lumière provenant du corps qu'on essaye. Cette lumière est plus ou moins désensibilisée pour amener les deux moitiés du disque à une égale intensité, comme cela a lieu dans le polarimètre de M. Cornu, qui nous a aidés aussi de ses conseils. Le témoin consiste en un bec de forme circulaire muni d'un petit régulateur rhéométrique à gaz Giroud, dans la flamme duquel nous avons disposé un petit cône creux en platine destiné à recevoir du carbonate de soude fondu. Le témoin est entouré d'une enveloppe métallique munie d'une fente mobile, afin d'éviter l'impression

---

([1]) Cette méthode et cet instrument pourraient, avec quelques légères modifications, s'appliquer au dosage d'autres métaux qui, dans la flamme d'un bec de Bunsen, fournissent une intensité de lumière suffisante, tels que le lithium, le thallium, etc., et peut-être même, ainsi que le pense M. Berthelot, aux substances telles que l'alizarine, etc., qui fournissent des raies d'absorption d'une certaine intensité.

produite sur l'œil par l'éclat de la fente sodique. On a placé devant la fente du tube H un prisme mobile en verre, de couleur semblable à celle du désensibilisateur. Ce prisme a pour résultat, tout en permettant de diminuer à volonté l'intensité de la raie témoin, de modifier sa couleur en la rendant comparable à celle qu'on obtient avec les rayons qui traversent le compensateur.



L'objectif du spectroscope, qui peut se mouvoir dans un plan horizontal, permet de régler la position de la raie spectrale. En M se trouve un diaphragme traversé dans son milieu par un fil d'araignée vertical. Un petit bec de gaz *q*, entouré d'une cheminée, porte une lentille qui concentre ses rayons sur l'index de l'échelle et une lunette de Galilée, placée en N, facilite la lecture des divisions de l'échelle. Cette partie de l'appareil a été exécutée par M. Duboscq avec son habileté ordinaire.

2° La deuxième partie de l'appareil est formée d'un chariot, mobile sur des galets, qui est commandé par un mouvement d'horlogerie à pendule conique S. Sa course est de 17 centimètres et s'effectue en soixante et onze secondes. Un appareil ingénieux, mû par deux fils, dont les extrémités sont placées sous la main de l'opérateur, sert à embrayer l'engrenage du chariot, dont le mouvement est indépendant de celui du pendule conique. Ce moteur, construit par M. P. Dumoulin-Froment, est doué d'une grande perfection.

Fil. — Le chariot porte à ses extrémité deux tiges horizontales *a*, *a'* qui supportent le fil de platine. Au sortir de la flamme, une tige d'acier placée sur le même plan que les bras du support empêche le fil de s'affaisser et le guide dans sa course. Le diamètre du fil de platine est de 1 millimètre.

Brûleur. — Le brûleur se compose d'un bec Bunsen *n* à flamme plate et muni d'un régulateur rhéométrique à gaz. Une disposition, pareille à celle du pied qui supporte le témoin, permet un mouvement angulaire servant à régler la position de la flamme par rapport au fil. Une cheminée *c'*, placée à quelques centimètres au-dessus de la flamme, augmente sa stabilité. Le bec porte un écran mobile de bas en haut, percé d'une ouverture d'un diamètre de 1 centimètre, au moyen de laquelle on isole la partie la plus fixe de la flamme, située au-dessus du fil de platine. Deux obturateurs, formés de lames métalliques distantes de quelques centimètres, fixées sur le chariot, passent successivement devant le diaphragme et produisent, dans la partie gauche du disque lumineux, une obscurité de quelques secondes; on est ainsi prévenu du moment où doit commencer l'opération, qui doit avoir lieu sur la même partie de chaque fil.

Réglage de l'appareil. — On commence par introduire dans la flamme du brûleur une nacelle en platine contenant des fragments de carbonate de soude fondu, et l'on fait mouvoir l'oculaire du spectroscope jusqu'à ce que la raie, à laquelle on donne une largeur suffisante, vienne à la rencontre du fil d'araignée dans la partie gauche du diaphragme. On dispose le témoin de façon à couvrir de même la partie droite. Les solutions qui servent à titrer l'appareil sont placées à l'avance dans une série de tubes bouchés, dans lesquels on plonge le fil de platine pour l'imprégner de la solution sodique; il est ensuite rapidement séché à l'étuve. On débarrasse à l'avance les fils de toute trace de soude par un lavage et une calcination prolongée.

Graduation. — Pour graduer l'appareil, il suffit de plonger les fils de platine dans des solutions titrées, de mettre en marche le chariot portant le fil, et d'amener les deux demi-disques à une égale intensité à l'aide du prisme compensateur. Dans cette méthode, le diamètre du fil, sa vitesse, la nature du sel de soude, ainsi que la présence de substances étrangères, ont une influence consi-

dérable. Nous passerons donc rapidement en revue ces divers points.

L'expérience nous a conduits à employer des fils de 1 millimètre de diamètre. Des fils d'un diamètre supérieur ne peuvent, dans les conditions de notre appareil, être portés assez rapidement à une température suffisante pour volatiliser convenablement le sodium. Nous avons de plus reconnu que, pour un diamètre déterminé, les solutions de soude, concentrées au delà d'une certaine limite, fournissent la même intensité lumineuse. On peut expliquer ce fait en admettant que, dans le même temps, une source calorifique quelconque ne pourra volatiliser que la même quantité de sodium, quelle que soit la concentration de la liqueur.

Les solutions sont titrées depuis 1 pour 100 jusqu'à $0^{gr},05$ pour 100 de soude (NaO).

Nous employons le sulfate de soude, dont la volatilité nous paraît intermédiaire entre celle du chlorure et du phosphate de soude.

Comme on peut toujours séparer les sels étrangers à la soude et à la potasse, nous avons dû chercher l'influence de ce dernier alcali sur le dosage. En effet, une forte proportion de potasse augmente le titre des solutions, ce qu'on peut attribuer à l'accroissement de densité, qui correspond à une épaisseur plus grande de la couche liquide recouvrant le fil. Nous avons remédié à cet inconvénient en employant pour la graduation des solutions de soude saturées de sulfate de potasse.

Les fils doivent d'ailleurs être retirés du liquide avec une vitesse égale.

Échelle. — Les divisions de l'échelle que nous avons déterminées sont inégales et se rapprochent à mesure que l'on opère sur des dissolutions. En prenant pour abscisses les nombres correspondants de l'échelle et pour ordonnées les quantités de soude, nous avons déterminé une courbe régulière que M. Leygue a bien voulu soumettre au calcul. D'après ses recherches, cette courbe est une fonction du troisième degré et a pour formule $Y = -a + bx - cx^2 + bx^3$.

Malgré la constance du témoin, son intensité lumineuse peut subir quelques variations dues à différentes causes; ces variations ont pour résultat de déplacer la courbe, sans changer sa nature.

Afin d'éviter de fréquentes déterminations de l'échelle, nous avons recours à une courbe mobile que l'on promène sur un papier quadrillé indiquant les ordonnées et les abscisses.

La moyenne des erreurs que peut fournir cet instrument entre des mains expérimentées peut varier de 2 à 5 pour 100 de la teneur en soude.

III.

On voit donc que cette méthode, dans l'état actuel des choses, est spécialement destinée à suppléer les procédés chimiques, quand ceux-ci deviennent impuissants en raison de la faible proportion de soude; une erreur relativement sans importance, dans ce cas, fournirait des résultats insuffisants si l'on agissait sur des solutions très-concentrées, qu'on devrait diluer jusqu'à une limite égale ou inférieure à 1 pour 100.

Dosage de la soude dans les cendres des végétaux. — On commence par traiter la cendre à chaud par l'acide sulfurique : on se débarrasse ainsi des acides carbonique et chlorhydrique. La solution est ensuite additionnée d'un léger excès de baryte qui précipite les acides sulfurique et phosphorique. La soude et la potasse se trouvent ainsi mises en liberté. On sature exactement la liqueur par l'acide sulfurique. On introduit enfin un excès de sulfate de potasse pur, de manière à saturer la liqueur dont on aura déterminé le volume quant au poids de cendre employée. L'essai se pratique ensuite comme nous l'avons indiqué précédemment (1).

(1) On peut se rendre compte de la sensibilité de cette méthode et des erreurs relatives que l'on peut commettre par les exemples suivants :

1° Soit une solution renfermant 0gr,3 de soude pour 100 grammes d'eau; une moyenne de trois essais a donné à l'aide de la courbe 0gr,297 de soude;

2° Solution de 0gr,6 de soude pour 100 grammes d'eau ; on a retrouvé 0gr,63 Na O.

Nos essais ont aussi porté sur des cendres dans lesquelles on déterminait directement la proportion de soude et auxquelles on ajoutait une quantité connue de sulfate de soude qu'on retrouvait par l'expérience.

SÉANCE DU 27 JUIN 1873.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Élie, professeur au collége d'Abbeville; Meunier-Dollfus, ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, à Mulhouse; Girardet, professeur au lycée de Versailles; Raulx, directeur du télégraphe, à Auch; Delhaye, professeur au lycée de Saint-Omer; Vermeille, professeur au lycée de Cambray; Monteil, professeur au lycée de Pau; Bonavita, professeur au lycée de Bastia; Douliot, principal du collége de Châtillon-sur-Seine; Coupier, fabricant de produits chimiques, à Poissy; Schoeffer, professeur au collége de Béziers; Guelpa, principal au collége de Sétif; Deleveau, professeur au lycée de Montauban, sont élus membres de la Société.

M. Mascart communique à la Société :

1° Un régulateur de courants électriques;

2° Une modification du thermomètre électrique de Riess;

3° Une application de la machine de Gramme à la mesure des forces électromotrices. Quand on oppose à la machine de Gramme une série d'éléments Daniell, le nombre de ces éléments auxquels la machine fait équilibre est exactement proportionnel à la vitesse de rotation. On a donc à sa disposition une sorte de pile dont la force électromotrice peut varier à volonté, d'une manière continue, et peut servir à déterminer celle d'une autre pile quelconque. Il suffit pour cela de chercher, et de maintenir constante, la vitesse de rotation qui permet d'annuler le courant de la pile proposée; on y parvient aisément, à l'aide d'un métronome. Les machines de l'*Alliance* jouissent d'ailleurs de la même propriété; toutefois, il importe de remarquer que la force électromotrice d'une machine magnéto-électrique n'est proportionnelle à la vitesse que par opposition avec un courant extérieur. La proportionnalité cesse d'avoir lieu si le courant qui traverse la machine n'est pas nul.

M. Gernez répète ensuite diverses expériences sur les lames liquides, en particulier celles de MM. Plateau, Dupré et Van der Mensbrugghe. Il fait connaître la composition du liquide qui lui permet d'obtenir les meilleurs résultats.

M. le président donne lecture du résultat du scrutin pour l'élection des membres du Conseil.

Les membres résidants nommés sont :

MM. LISSAJOUS.
JAMIN.
MASCART.
BOUTAN.
GERNEZ.
WOLF.

MM. EDM. BECQUEREL.
QUET.
BRÉGUET.
FERNET.
CAZIN.
POTIER.

Les membres non résidants nommés membres du Conseil sont :

MM. ABRIA.
TERQUEM.
BILLET.
CROVA.
DUCLAUX.
GRIPON.
LALLEMAND.

MM. MELSENS.
JOUBERT.
VIOLLE.
ISAMBERT.
ROSENSTIEHL.
CHAUTARD.

La séance est levée à 10 heures et demie.

Expériences de capillarité; par M. D. GERNEZ.

Lorsqu'on introduit des charpentes métalliques dans un collodion très-riche en huile de ricin, et qu'on les retire lentement, on obtient des lames minces, extrêmement mobiles, assez résistantes pour supporter, sans rupture, une extension qui double leur surface, et tellement élastiques, qu'elles reprennent leur étendue primitive, aussitôt que cesse l'action déformatrice.

Les liquides qui donnent les meilleurs résultats sont formés de 89 d'éther, 5,5 d'alcool absolu, 5,5 de coton-poudre photographique, et de 70 à 100 d'huile de ricin, ajoutés après la dissolution du coton-poudre.

Voici quelques expériences qu'ils permettent de réaliser facilement.

1. Avec des charpentes métalliques qui peuvent atteindre 8 centimètres d'arête, on produit les systèmes laminaires de M. Plateau, et l'on observe toutes les phases transitoires jusqu'à la position d'équilibre. Les lames restent opalines pendant quelques minutes, sans doute à cause de la solidification de l'huile de ricin, provoquée par l'évaporation de l'éther; elles deviennent bientôt transparentes et persistent souvent pendant plusieurs semaines.

2. M. Dupré a fait voir qu'un grain de plomb peut traverser une lame mince d'eau de savon sans la briser. On peut suivre les particularités de cette expérience, à l'aide de lames de collodion. On voit, en effet, le grain de plomb former une poche qui s'étrangle en s'allongeant derrière lui, de sorte que, au moment qu'il se détache, les parois de la cavité se soudent sans déterminer la rupture de la lame. Cette expérience réussit facilement avec des corps de forme quelconque, à arêtes vives ou arrondies.

3. On peut de même suivre, dans tous ses détails, une expérience que M. van der Mensbrugghe a utilisée pour déterminer la tension superficielle d'une lame liquide, et qui consiste à suspendre à une lame plane un anneau circulaire qui descend parallèlement à la lame fixe, jusqu'à ce que le poids dont on le charge détermine la rupture.

4. On vérifie l'égalité de la tension superficielle sur une lame plane, dans toutes les directions, par une expérience analogue à celle du fil de M. van der Mensbrugghe. On fend une lame de collodion, par un trait rectiligne, fait avec une pointe ou un fil fin, imbibé d'éther, et l'on voit immédiatement les bords de la fente s'écarter, en présentant toutes les formes de transition entre la ligne droite et la circonférence. La forme circulaire, une fois atteinte, se conserve à mesure que le rayon grandit, même lorsque l'ouverture, en s'élargissant, rencontre un côté de la charpente métallique.

5. On peut utiliser les propriétés de ces membranes dans l'étude de plusieurs questions d'acoustique : leur surface est un véritable

miroir, d'une mobilité extrême, qui manifeste les lignes nodales des membranes vibrantes de forme quelconque, planes ou courbes; elle se prête à la détermination, par points, des surfaces nodales, dans les masses gazeuses vibrantes, et dans ce cas l'observation prend une grande sensibilité, si l'on observe par réflexion, dans une lame plane, l'image d'une fente lumineuse sur un fond obscur ou un trait obscur sur un fond vivement éclairé.

Sur un régulateur de courants électriques; par M. Mascart.

Il peut être très-utile, dans les recherches scientifiques et même dans certaines applications industrielles, d'obtenir un courant électrique d'intensité constante malgré les résistances et les forces électromotrices que l'on pourra introduire sur son trajet. C'est un problème qu'on a plusieurs fois résolu d'une manière plus ou moins satisfaisante; je citerai entre autres le régulateur de M. Kohlrausch [1] et le voltastat de M. Guthrie [2]. Le baromètre métallique inscripteur de M. Rédier m'a donné l'idée d'une solution nouvelle qui me paraît comporter toute la précision dont on peut avoir besoin dans la pratique.

La partie importante de l'appareil est un mécanisme emprunté au baromètre de M. Rédier. Deux mouvements d'horlogerie indépendants, identiques et de sens contraires, placés dans la boîte H (*fig.* 1), se terminent l'un et l'autre par un petit volant à palettes; une tige métallique, en forme de T, mobile entre les deux volants, peut les laisser échapper l'un ou l'autre ou bien les arrêter tous deux, exactement comme dans le régulateur de Foucault pour la lumière électrique. Ces deux mouvements d'horlogerie commandent séparément deux roues dentées reliées par un rouage satellite. Si l'un des mouvements marche seul, il entraîne le satellite dans un certain sens en le faisant rouler sur la roue restée fixe; l'autre mouvement marchant seul l'entraînerait en sens contraire. L'axe qui porte le satellite peut donc tourner dans deux sens différents et, par un sys-

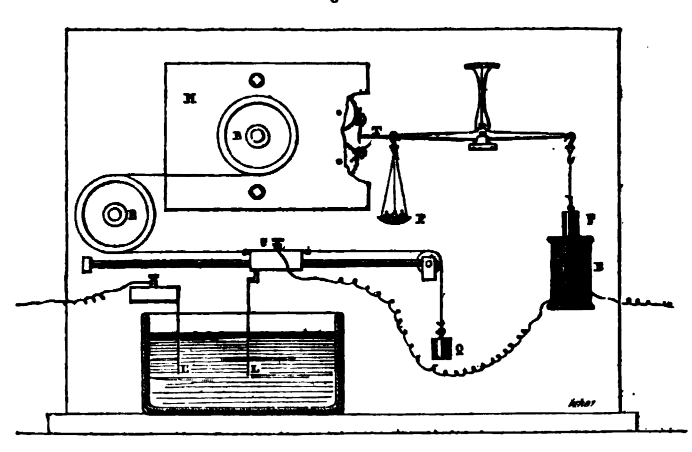
---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XIII, p. 452.
(2) *Ibid.*, t. XV, p. 484.

tème de poulies KK′, de cordes et de contre-poids Q, entraîner d'un côté ou de l'autre un petit chariot qui glisse sur deux règles de fer.

Le déplacement du T, qui laisse échapper les volants, est réglé par le courant électrique. On peut avoir recours pour cela à l'un des nombreux systèmes d'électro-aimants employés en télégraphie;


Fig. 1.



mais ces électro-aimants ont, en général, un effet trop brusque, et l'action des ressorts antagonistes n'est pas facile à déterminer quand on veut obtenir une force constante malgré les changements de distance des pièces mobiles. La balance électromagnétique de M. Becquerel réussit beaucoup mieux dans le cas actuel. A l'une des extrémités d'un fléau de balance on suspend un plateau P, et l'on y adapte le T d'échappement; l'autre extrémité porte soit un aimant F, soit un morceau de fer doux plongeant en partie dans une bobine creuse qui traverse le courant électrique. L'appareil étant réglé pour une certaine intensité du courant, à l'aide de poids placés dans le plateau P, le fléau est horizontal et le T arrête les deux volants. Si pour une cause quelconque l'intensité augmente, le fléau s'incline du côté de l'aimant, le T se relève et dégage le mouvement d'horlogerie inférieur, lequel, par l'intermédiaire du rouage satellite, entraîne le chariot dans un certain sens, à droite par exemple. Ce chariot introduit dans le circuit du courant une résis-

tance croissante qui ramène peu à peu l'intensité à sa valeur primitive; à ce moment l'équilibre est rétabli, le fléau redevient horizontal et tout s'arrête. Si, au contraire, le courant s'affaiblit, le T s'abaisse, le mouvement d'horlogerie supérieur marche seul, le chariot va vers la gauche et supprime des résistances qui existaient sur le parcours du courant, jusqu'à ce que l'intensité ait encore repris sa valeur primitive.

Quant aux résistances que le mouvement du chariot introduit ou supprime, elles pourront être, dans les différents cas, appropriées à la nature et à l'intensité des courants que l'on veut régulariser. J'ai employé, par exemple, une colonne d'eau légèrement acidulée placée dans un vase de porcelaine rectangulaire. Le courant qui vient de la bobine entre dans le liquide par une lame de platine L que porte le chariot, et sort du liquide par une autre lame de platine fixe L′ pour retourner à la pile; le rapprochement ou l'écartement des lames diminue ou augmente la résistance. Si l'on voulait éviter la dépense inutile d'électricité que cause la décomposition de l'eau et employer des résistances métalliques, il serait très-facile de faire établir par le chariot des contacts avec des fils ou des bobines de résistances différentes.

J'ajouterai quelques explications au sujet de la balance. On peut craindre d'abord que la pression exercée sur le T par les volants, ou les chocs que le T reçoit de temps en temps quand il remonte les palettes, ne nuisent à la sensibilité de la balance et n'empêchent l'équilibre. En fait, il n'en est rien. Dans l'appareil qui m'a servi, le fléau appartenait à un petit trébuchet ordinaire, et un excès de poids de moins de 1 centigramme suffisait pour arrêter ou laisser échapper l'un ou l'autre des deux volants.

On a dit aussi, et cette opinion est reproduite dans plusieurs ouvrages de Physique, que la balance électromagnétique par attraction donne lieu à un équilibre instable. Cela est vrai en général pour une position quelconque du barreau attiré, mais il est facile de se placer dans un cas qui donne un équilibre stable. Il est clair que l'attraction est nulle si le milieu du barreau coïncide avec le milieu de la bobine; l'attraction est encore nulle ou très-faible si le barreau est très-éloigné, et, dans l'intervalle de ces deux positions extrêmes, il y en a une pour laquelle l'attraction est maximum. Dans le voisinage de ce maximum l'action est sensiblement con-

stante, et si, par tâtonnements, on fait pénétrer le barreau dans la bobine jusqu'au point où l'action est maximum, l'appareil sera dans une position d'équilibre stable. Il est bon, d'ailleurs, d'employer un barreau un peu long pour que les variations de force attractive soient très-faibles dans la région du maximum.

Le choix du barreau attiré n'est pas non plus indifférent. Si le courant est faible, il vaut mieux employer un aimant pour augmenter l'attraction; si le courant est plus intense, on prendra du fer doux: l'action est alors sensiblement proportionnelle au carré de l'intensité du courant et la sensibilité est plus grande. Avec l'appareil qui m'a servi, un courant fourni par 8 éléments Daniell produisait sur un barreau de fer doux une attraction de 1 gramme environ et le fléau s'inclinait assez pour dégager l'un des mouvements d'horlogerie quand on faisait varier la charge de 1 centigramme; le courant était donc réglé à moins de $\frac{1}{200}$ près de sa valeur. On pourrait, d'ailleurs, par un choix convenable de la bobine, augmenter l'action pour régler des courants plus faibles. Avec des courants très-intenses, il y aurait sans doute avantage à n'envoyer dans la bobine qu'un courant dérivé, tout en faisant agir le chariot sur le circuit principal.

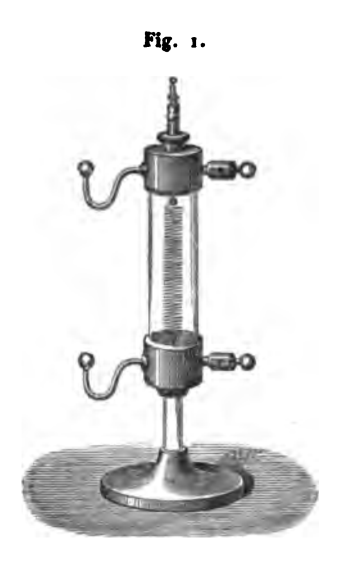
Sur une modification du thermomètre électrique; par M. Mascart.

La *fig.* 1, qui représente l'appareil dont je veux parler, dispense d'une longue description. Il se compose d'une hélice en fil fin de platine, suspendue entre deux armatures métalliques, qui ferment un tube de verre. Chacune de ces armatures est munie d'un crochet à boule, pour les décharges d'électricité statique, et d'une pince à fil pour l'étude des courants. L'armature supérieure porte, en outre, une tubulure par laquelle on peut, à l'aide d'un tube en caoutchouc, mettre l'air du thermomètre en communication avec un manomètre, pour observer les changements de pression produits par l'échauffement du fil. C'est, comme on le voit, un thermomètre de Riess, dans lequel on a réduit, autant que possible, la masse d'air, pour obtenir une plus grande sensibilité.

On peut mesurer les variations de pression et, par suite, les quan-

tités de chaleur dégagée, comme on le fait d'habitude, par un manomètre à colonne liquide inclinée; mais il est plus intéressant de

Fig. 1.



forcer l'appareil à inscrire lui-même ses indications. Pour cela, le thermomètre communique avec un tambour à levier, comme ceux qu'emploie M. Marey dans ses expériences de physiologie. Ce tambour est formé d'une membrane de caoutchouc, tendue sur une capsule en métal; sur la membrane est une plaque métallique qui agit, par une petite tige, sur un levier très-léger et tout près de l'axe de rotation. Les petits déplacements que les variations de pression impriment à la membrane sont communiqués au levier qui les amplifie et les inscrit sur une feuille de papier enfumé enroulée sur un cylindre et entraînée par un mouvement d'horlogerie.

Pour montrer comment la méthode inscriptive, si employée déjà dans un grand nombre de recherches, peut être appliquée à l'étude des phénomènes électriques, j'ai fait reproduire (*fig.* 2, 3 et 4) aussi exactement que possible, avec leurs détails et leurs imperfections, des courbes obtenues par des décharges de batteries électriques et par des courants continus. Les portions rectilignes indiquent la position du tracelet avant l'expérience, et les courbes traduisent les variations successives de pression dues à l'échauffement du fil.

Dans les expériences de la *fig.* 2, on a mis une charge électrique constante sur une batterie formée d'un nombre de bouteilles

Fig. 2.

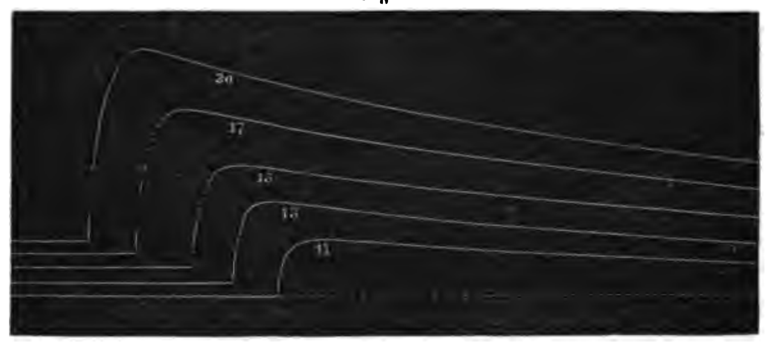


variable, 2, 3, 4, 5 et 6, comme l'indiquent les numéros des courbes. La *fig.* 3 correspond à des expériences dans lesquelles la batterie était la même et la charge variable; les numéros des courbes indiquent le nombre des étincelles d'une bouteille de Lane, qui servait à mesurer la charge électrique.

On remarquera déjà que l'échauffement de l'air n'est pas instantané; il atteint rapidement son maximum et diminue ensuite régulièrement. L'examen de cette deuxième partie de la courbe permettrait d'étudier la loi du refroidissement.

On voit aussi qu'à charge constante la quantité de chaleur fournie par l'étincelle diminue quand le nombre des bouteilles augmente, et que, pour une même batterie, la chaleur de l'étincelle

Fig. 3.



augmente rapidement avec la charge; mais on peut aller plus loin et vérifier numériquement les lois de Riess.

Si la quantité de chaleur dégagée est faible, on peut être assuré, sans faire aucun calcul, que les changements de volume du gaz, les variations de pression et les déplacements du levier seront proportionnels entre eux et proportionnels à la quantité de chaleur fournie par la décharge : il suffira donc de mesurer les ordonnées maxima de ces différentes courbes. On obtient ainsi :

Charge constante (fig. 2).

NOMBRE des bouteilles.	ORDONNÉE maximum	PRODUIT.
2	18,5	37,5
3	10,7	32,1
4	8,8	35,2
5	6,5	32,5
6	5,8	34,8

On voit, d'après la troisième colonne, que la quantité de chaleur dégagée est sensiblement en raison inverse du nombre des bouteilles de la batterie.

Charge variable (fig. 3).

NOMBRE d'étincelles n	ORDONNÉE maximum h	$1000\frac{h}{n^2}$	REFROIDISSEMENT h'	$1000\frac{h+h'}{n^2}$
11	7,4	60,9	0,5	65,3
13	10,6	60,3	0,8	67,0
15	13,3	59,6	1,1	65,0
17	19,0	66	1,4	70,6
20	25,5	63,7	2	68,7

La troisième colonne de ce tableau montre que la quantité de chaleur est sensiblement proportionnelle au carré de la charge, ce qui doit être.

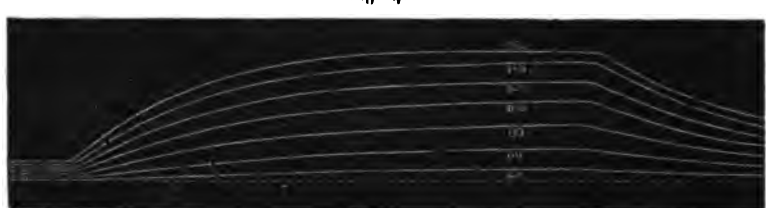
On peut d'ailleurs faire le calcul d'une manière plus complète, en tenant compte des pertes subies par l'appareil, pendant la période d'échauffement. La courbe du refroidissement permet de déterminer, soit par le calcul, soit par une construction graphique, la déperdition qui a eu lieu pendant la période ascendante. En ajoutant cette perte à l'ordonnée maximum, on obtiendra le déplacement qu'aurait fourni l'appareil s'il eût été à l'abri de cette cause d'erreur. La quatrième colonne indique cette perte et les calculs de la cinquième ont été faits avec des nombres ainsi corrigés.

Enfin on peut encore se borner à étudier la courbe de refroidissement. Si la loi de Newton est applicable à l'expérience, cette courbe est une exponentielle, et le coefficient angulaire de la tangente au point de départ est proportionnel à la vitesse initiale de refroidissement, c'est-à-dire à l'excès de la température du gaz échauffé sur la température extérieure.

Ce procédé de calcul sera surtout avantageux dans le cas où le thermomètre est maintenu échauffé pendant un temps assez long, comme par le passage d'un courant électrique, parce que les tambours à levier ne sont pas toujours bien fermés et qu'une petite fuite de cet appareil peut diminuer beaucoup l'ordonnée maximum; on reconnaît d'ailleurs les fuites en vérifiant si le levier après refroidissement revient à son point de départ. Je vais encore appliquer ceci à un exemple.

La *fig.* 4 est une *réduction* des courbes obtenues en faisant

Fig. 4.



passer dans le fil du thermomètre le courant fourni par une machine de Gramme marchant avec des vitesses différentes. On tournait la machine à la main, et, au moyen d'un métronome, on arrivait assez aisément à maintenir une marche uniforme; les chiffres inscrits près des courbes indiquent le nombre de tours de la mani-

velle, par minute. Les courbes montrent que l'échauffement du fil est progressif et qu'il n'arrive à son maximum qu'au bout d'un temps assez long ; ce maximum n'a même pas été atteint dans plusieurs expériences, parce que j'ai cherché à donner une idée de la méthode, plutôt qu'à faire des mesures de précision.

La quantité de chaleur dégagée dans le fil du thermomètre est, d'après la loi de Joule, proportionnelle à la résistance du fil et au carré de l'intensité du courant ; si l'intensité du courant est proportionnelle à la vitesse de rotation, la quantité de chaleur sera proportionnelle au carré du nombre des tours.

Voici le résultat des mesures faites sur les courbes elles-mêmes :

NOMBRE de tours n	ORDONNÉE maximum h	$1000 \frac{h}{n^2}$	$\frac{1}{C}$	$\frac{n^2}{C}$
40	5,3	3,31	20,8	33
60	12,3	3,42	8,83	32
80	20,4	3,20	4,69	30
100	28,7	2,87	3,24	32
120	35,4	2,46	2,47	35,5
140	42	2,14	2,00	39
160	44	1,74	1,77	45

On voit, par les nombres de la troisième colonne, que l'intensité du courant est à peu près proportionnelle à la vitesse, au moins pour les premières expériences. La loi paraît en défaut pour les suivants, mais cela peut tenir, en partie, aux fuites du tambour à levier. En effet, la quatrième colonne renferme les inverses des coefficients angulaires de la tangente à la courbe de refroidissement, au point de départ, et la cinquième colonne montre que ces coefficients sont assez voisins d'être proportionnels au carré de la vitesse de rotation.

D'ailleurs les résultats numériques de cette dernière série d'expériences ne sont pas assez certains pour qu'on en puisse déduire avec sécurité la vérification d'une loi. Il y avait diverses causes d'erreur, telles que les fuites du tambour, que je n'ai pas cherché à éliminer complétement. J'ai voulu seulement montrer, par des exemples simples, que la méthode d'inscription peut être appliquée

très-facilement à l'étude des phénomènes d'électricité, et que l'examen des courbes, même au point de vue des évaluations numériques, présente des ressources que n'offre pas l'observation directe.

SÉANCE DU 11 JUILLET 1873.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Leschi, professeur au collége de Corte, Teissier, agrégé à Toulon; Jandeau, professeur au collége de Tourcoing; Beaume, professeur au lycée d'Orléans; Croix, préparateur au lycée d'Orléans; le Dr Passot, aide-major au 21e bataillon de chasseurs, à Montauban; Gayon, préparateur à l'École Normale supérieure; Strumbo, professeur à l'Université d'Athènes, et König, constructeur d'instruments d'acoustique, à Paris, sont élus membres de la Société.

M. Caspari fait connaître les formules qui permettent de calculer les erreurs du compas à tous les azimuts, ainsi que la déclinaison elle-même et les observations qui doivent être faites pour déterminer les coefficients qui entrent dans ces formules. Il expose ensuite la méthode qu'il a imaginée pour cette détermination lorsqu'on manque de relèvements, en temps brumeux par exemple.

M. Niaudet-Bréguet présente les principaux organes de la machine de Gramme, notamment l'anneau et ses différentes parties. Deux machines de ce genre étant disposées dans un circuit, il montre comment, si l'on fait tourner l'une d'elles à la main, l'électricité dégagée par ce mouvement fait tourner la seconde machine. Si, dans le même circuit, on ajoute un fil de platine convenablement choisi, on voit le fil rougir quand on tourne la machine n° 1, mais à la condition que la machine n° 2 ne tourne pas; si on laisse tourner la machine n° 2, l'échauffement du fil n'a pas lieu (du moins au même degré); si l'on arrête la machine n° 2, le fil rougit de nouveau; si, enfin, deux personnes tournent à la fois les deux

machines dans le sens convenable, les deux machines se trouvent accouplées en tension et la couleur du fil de platine l'accuse.

Si l'on charge une pile secondaire de M. Planté avec une machine Gramme, à l'instant où l'on cesse de tourner la manivelle, on voit la machine continuer son mouvement ou même le reprendre, sous l'influence de l'électricité rendue par la pile secondaire.

M. Niaudet-Bréguet montre comment un voltamètre, dans lequel on a multiplié la surface des électrodes en employant un grand nombre de fils de platine très-fins, permet de dégager les gaz beaucoup plus rapidement que le voltamètre ordinaire. L'expérience se fait en envoyant le courant d'une machine Gramme ou d'une pile simultanément dans un *voltamètre à balais* et un voltamètre ordinaire, chacun étant placé en dérivation par rapport à l'autre.

La séance est levée à 10 heures moins un quart.

Notions sommaires sur la déviation des boussoles par le fer des navires; par M. E. Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine.

On nomme *régulation des compas* l'ensemble des procédés employés pour déterminer et corriger l'influence perturbatrice qu'exerce, sur les boussoles ou compas, le fer qui entre dans la construction et dans le chargement des navires.

L'action de l'aimant terrestre sur une aiguille librement suspendue est telle, que celle-ci prend en chaque lieu une direction fixe: on peut négliger ici les actions à courte ou longue période qui font varier en un même lieu l'intensité et la direction de cette force.

Admettons que, par un procédé quelconque, on ait forcé l'aiguille à se mouvoir horizontalement; l'action perturbatrice du fer du navire se traduit alors :

1° Par une *déviation* de l'aiguille, en dehors du méridien magnétique;

2° Par une altération en grandeur de la force directrice agissante. Ces effets, comme on l'aperçoit facilement *a priori,* varient dans

le cours de l'évolution du navire et dépendent de son orientation.

Pour diriger sa route d'après le compas, il faut donc, ou annuler les déviations, ou pouvoir les connaître à chaque instant pour en tenir compte, comme d'une variation.

Quelques définitions préliminaires de termes marins seront utiles :

Variation. Synonyme de déclinaison de l'aiguille aimantée.

Cap ou *route.* Azimut de l'avant du navire vu de l'arrière.

Rhumb ou *aire de vent.* Divisions de la rose des vents que porte la boussole.

Déviation. Différence entre le cap d'après le compas influencé et le cap magnétique réel.

Tribord. Direction *à droite* d'un observateur regardant de l'arrière à l'avant.

On est convenu de donner le signe + aux déviations et forces vers la droite (est et tribord).

1. *Explication élémentaire des déviations.*— Le fer des navires agit de deux manières sur les compas.

Certaines pièces de fer dur qui sont restées longtemps à la même position pendant la construction du navire, et qui ont subi dans cette position des actions mécaniques, telles que torsions, martelages, etc., acquièrent sous l'influence de la terre un magnétisme persistant ou permanent. C'est ce qui arrive notamment aux navires construits entièrement en fer. Ces navires peuvent être généralement considérés comme des aimants, et la position des pôles dépend de l'orientation du bâtiment pendant la construction.

On a constaté, dans certains cas, qu'en plaçant une boussole en dehors et près du navire un des pôles de cette boussole est attiré par le navire orienté à un certain cap, et repoussé quand on a fait tourner le navire de 180 degrés. Quelquefois, comme cela est arrivé au *Narval,* cette polarité est assez développée pour déterminer l'orientation du navire en eau calme.

Pour un compas placé à bord on peut assimiler cette action à celle d'un aimant permanent, qui agirait sur la boussole comme une force de direction et d'intensité constantes (ou plutôt comme un couple; mais il n'est nécessaire de considérer que l'une des forces de ce couple).

Lorsque l'orientation du navire est telle qu'un des pôles de cet aimant résultant agisse dans la même direction et le même sens que le pôle terrestre de même nom, l'aiguille n'est pas déviée, mais la force directrice qui agit sur elle est augmentée pour ce cap; elle est diminuée pour le cap diamétralement opposé, et n'y produit encore pas de déviation.

Le navire évoluant, l'azimut du pôle considéré par rapport au méridien magnétique change, et les deux forces de la terre et du navire se composent suivant une résultante intermédiaire qui fait sortir l'aiguille du méridien magnétique. Cette action est maximum quand le navire est à 90 ou 270 degrés du rhumb de déviation nulle; si d'ailleurs elle est positive pour le premier de ces caps, elle sera négative pour le second; autrement dit, elle change de signe en passant par zéro; c'est ce que l'on exprime en lui donnant le nom de *déviation semi-circulaire*.

Le fer doux contenu dans le navire agit sur le compas par le magnétisme passager qu'y développe l'induction de l'aimant terrestre d'une part, et du fer magnétique du navire d'autre part. Le résultat de cette dernière induction se confond avec l'effet dû au magnétisme permanent dont elle dépend. Quant à l'induction terrestre, elle peut se décomposer en une action verticale et une action horizontale. L'induction verticale est la même à tous les caps du navire; elle produit donc encore une déviation semi-circulaire, qui se distingue de celle due au magnétisme permanent en ce que cette dernière est constante en force aussi bien qu'en direction, tandis que l'induction verticale varie avec la latitude magnétique, s'annule sous l'équateur et change de signe dans l'hémisphère sud.

Quant à la valeur de la *déviation* semi-circulaire, elle varie pour les deux cas, quand le navire se déplace; car pour celle due au fer dur, la force restant constante, sa résultante avec la force horizontale terrestre varie quand cette dernière varie. Pour celle due au fer doux vertical, nous venons de voir qu'elle change même de signe d'un hémisphère à l'autre.

Reste à considérer l'induction *horizontale* du fer doux.

Considérons un barreau transversal de fer doux.

Quand le cap est au nord, ce barreau orienté est-ouest n'est pas magnétique, déviation *nulle*. De même avec le cap au sud.

Avec le cap à l'est, le barreau est aimanté; mais alors il se trouve

parallèle au compas, et ne peut agir pour le dévier; il modifie seulement la force directrice. De même pour le cap à l'ouest.

Si, au contraire, le cap est au N.-E., l'extrémité de tribord attirera le pôle nord de l'aiguille et donnera une déviation positive, si le barreau est devant le compas ou à tribord; cette déviation deviendra négative avec le cap au S.-E.

Un raisonnement analogue rendra compte des effets d'une barre longitudinale de fer doux, ainsi que des effets variables résultant des dispositions spéciales de ces barreaux sur les côtés ou à l'avant et à l'arrière du compas. On trouvera ainsi, en résumé, que le magnétisme induit horizontal produit une déviation *quadrantale*, c'est-à-dire maximum aux caps inter-cardinaux, N.-E., S.-E., S.-O. et N.-O., s'annulant et changeant de signe aux quatre caps cardinaux.

Enfin les variations de force directrice qui résultent de cette action du magnétisme induit peuvent réagir indirectement sur la valeur de la déviation semi-circulaire.

On a admis, dans la théorie de la régulation des compas, que les dimensions de la boussole sont négligeables relativement à la distance aux masses de fer les plus voisines. Cette hypothèse est permise, comme l'expérience le prouve, eu égard au degré de précision que comportent les observations à la mer, à deux conditions toutefois :

1° Éviter l'usage des aiguilles trop longues; les compas de relèvement de notre marine ont des aiguilles dont la distance interpolaire ne dépasse guère $0^m,18$;

2° Surtout donner au compas *étalon* une position dans la partie du navire la plus libre de fer que l'on pourra trouver, à 2 mètres *au moins* de toute pièce de fer de quelque importance.

Ce premier aperçu nous permet de prévoir que la déviation *totale* se compose de la superposition ou addition des déviations semi-circulaire et quadrantale.

2. *Détermination expérimentale des déviations.* — On fait tourner le navire et on l'arrête à chacune des positions pour lesquelles on veut avoir la déviation; on mesure directement celle-ci en déterminant séparément le cap au compas et le cap magnétique réel; on peut alors la réduire en tables. On la détermine ordinaire-

ment pour 16 ou 32 rhumbs équidistants, on l'étend aux rhumbs intermédiaires par une interpolation graphique (diagramme de Napier). On peut à volonté prendre pour argument le cap au compas, ou le cap magnétique réel. Il est évident que chaque compas placé dans une position différente exige une table spéciale. Ces expériences, fort simples d'ailleurs, n'ont d'intérêt que pour la pratique des marins, et nous n'insisterons pas sur les détails des opérations.

Le navire muni de ces données peut naviguer en toute sûreté, en tenant compte des erreurs dont les indications du compas sont entachées.

Néanmoins la table des déviations ne peut servir que lorsqu'on ne change pas sensiblement de latitude magnétique; car l'induction et la force directrice du globe variant font aussi varier les deux parties de la déviation.

Enfin il y a une dernière restriction très-importante.

Le magnétisme du fer dur, considéré d'abord comme permanent par M. Airy, s'est montré sujet à varier, comme il résulte des observations du Dr Scoresby. Il diminue assez rapidement pendant les premiers mois qui suivent le lancement; il peut même arriver que des influences électriques ou les chocs répétés des lames contre la carène par gros temps modifient plus ou moins ce magnétisme : cela tient, en partie, à ce que la force coercitive du fer dur est moindre que celle de l'acier; aussi a-t-on appliqué plus justement à ce magnétisme le nom de *sous-permanent* (¹).

Il résulte de là qu'il y aurait imprudence à se servir d'un compas dont les erreurs seraient trop fortes, en raison de la nature variable de ces erreurs, puisqu'elles varient d'une part avec le temps et d'autre part avec la latitude magnétique. D'ailleurs les grandes déviations indiquent aussi des variations considérables de la force directrice de l'aiguille, suivant les orientations du navire; à certains caps la diminution de force directrice peut rendre l'aiguille paresseuse.

Ces diverses considérations ont conduit à chercher les moyens de

(¹) Pour le magnétisme passager, M. Gaussin a établi que, le fer n'étant pas parfaitement doux, l'action inductrice de la terre ne se produit pas instantanément dans le cours d'une évolution de navire.

simplifier les méthodes pour obtenir la déviation en cours de navigation, en réduisant et rendant plus faciles les observations, ainsi que de diminuer la valeur absolue des déviations et des variations de la force directrice. On a eu recours à la théorie pour cet objet, et l'on a réussi ainsi, non-seulement à réduire le nombre des observations nécessaires à la construction des tables, mais encore à prévoir l'influence des changements de latitude et, enfin, à diminuer la grandeur des actions perturbatrices.

3. *Théorie mathématique des déviations.* — Poisson, le premier, partant des principes de la théorie du magnétisme induit, établis par lui (voir *Mémoires de l'Académie des Sciences,* t. VI, VII et XVI. et les *Additions à la Connaissance des Temps,* 1841), a montré que les composantes de la force exercée par le fer induit du navire, suivant trois axes coordonnés rectangulaires, situés dans le navire, sont des fonctions linéaires de l'action de la terre, projetée sur les mêmes axes.

En prenant pour origine le centre du compas, pour axe des X une horizontale dirigée vers l'avant, pour axe des Y une horizontale dirigée vers tribord, et pour axe des Z une verticale dirigée vers le nadir, et désignant par

X, Y, Z les composantes de l'action terrestre,

X', Y', Z' celles de la force totale agissant sur le compas (terre et navire),

P, Q, R celles du magnétisme sous-permanent,

on a les équations suivantes :

$$X' = X + aX + bY + cZ + P, \tag{1}$$

$$Y' = Y + dX + eY + fZ + Q, \tag{2}$$

$$Z' = Z + gX + hY + kZ + R, \tag{3}$$

dont les paramètres a, b,..., k ne dépendent que de la quantité et de la disposition du fer doux qui existe à bord.

Ces formules ne sont fondées que sur les hypothèses généralement admises dans la théorie du magnétisme. Elles sont susceptibles

d'une interprétation physique. Les neuf termes aX, bY,... peuvent être représentés par autant de barreaux de fer doux, respectivement parallèles aux axes coordonnés correspondants, et ayant des dispositions variables suivant la distribution du fer à bord.

Pour rendre ces formules plus faciles à appliquer dans la pratique, M. Archibald Smith les a transformées, en y introduisant la force horizontale terrestre H, celle du navire et de la terre H′, l'inclinaison θ, enfin les routes magnétiques réelle ζ et apparente ζ' du navire, et la différence qui est la déviation $\delta = \zeta - \zeta'$.

Les équations (1) et (2) transformées ainsi ont donné la force vers l'est magnétique :

$$(4)\quad \left\{\begin{aligned} \frac{H'}{H}\sin\delta = \frac{d-b}{2} &+ \left(c\,\text{tang}\,\theta + \frac{P}{H}\right)\sin\zeta \\ &+ \left(f\,\text{tang}\,\theta + \frac{Q}{H}\right)\cos\zeta \\ &+ \frac{a-e}{2}\sin 2\zeta + \frac{d+b}{2}\cos 2\zeta, \end{aligned}\right.$$

et la force vers le nord :

$$(5)\quad \left\{\begin{aligned} \frac{H'}{H}\cos\delta = 1 + \frac{a+e}{2} &+ \left(c\,\text{tang}\,\theta + \frac{P}{H}\right)\cos\zeta \\ &+ \left(f\,\text{tang}\,\theta + \frac{Q}{H}\right)\sin\zeta \\ &+ \frac{a-e}{2}\cos 2\zeta - \frac{d+b}{2}\sin 2\zeta. \end{aligned}\right.$$

Si l'on prend H pour unité, ces formules montrent que la force moyenne vers l'est est $\frac{d-b}{2}$, et la force moyenne vers le nord $1+\frac{a+e}{2}$. On désigne habituellement cette dernière quantité par λ. Elle joue un rôle important dans les formules.

Ces équations, par des transformations faciles, conduisent aux équations suivantes :

$$(6)\quad \text{tang}\,\delta = \frac{\mathfrak{A} + \mathfrak{B}\sin\zeta + \mathfrak{C}\cos\zeta + \mathfrak{D}\sin 2\zeta + \mathfrak{E}\cos 2\zeta}{1 + \mathfrak{B}\cos\zeta - \mathfrak{C}\sin\zeta + \mathfrak{D}\cos 2\zeta - \mathfrak{E}\sin 2\zeta},$$

$$(7)\quad \sin\delta = \mathfrak{A}\cos\delta + \mathfrak{B}\sin\zeta' + \mathfrak{C}\cos\zeta' + \mathfrak{D}\sin(2\zeta'+\delta) + \mathfrak{E}\cos(2\zeta'+\delta).$$

Cette dernière, pour $\delta < 20$ degrés, peut s'écrire, avec une approximation suffisante,

$$(8) \qquad \delta = A + \underbrace{B \sin\zeta' + C \cos\zeta'}_{\text{Déviation semi-circulaire.}} + \underbrace{D \sin 2\zeta' + E \cos 2\zeta'}_{\text{Déviation quadrantale.}},$$

dont les coefficients sont approximativement proportionnels à ceux des équations (6) et (7); A, B et C sont à peu près les arcs dont les sinus sont $\mathcal{A}$, $\mathcal{B}$ et $\mathcal{C}$.

Ces derniers ont pour valeurs, en fonction des coefficients de Poisson,

$$\mathcal{A} = \frac{1}{\lambda}\,\frac{d-b}{2}, \quad \mathcal{D} = \frac{1}{\lambda}\,\frac{a-e}{2}, \quad \mathcal{E} = \frac{1}{\lambda}\,\frac{d+b}{2},$$

$$\mathcal{B} = \frac{1}{\lambda}\left(c \operatorname{tang}\theta + \frac{P}{H}\right), \quad \mathcal{C} = \frac{1}{\lambda}\left(f \operatorname{tang}\theta + \frac{Q}{H}\right).$$

Les coefficients $\mathcal{B}$ et $\mathcal{C}$ de la déviation semi-circulaire comprennent deux termes, le premier dépendant de l'induction verticale du fer doux, le second du magnétisme permanent. Ils sont sujets à varier avec le temps, par suite de l'altération du magnétisme permanent, et avec la position géographique représentée par H et θ. Ils ont donc besoin d'être fréquemment déterminés.

$\mathcal{D}$ est le principal coefficient de la déviation quadrantale. L'expérience le montre presque toujours positif. Dans ce cas, on peut le diminuer par une ou deux tiges de fer doux, disposées en travers du navire et à tribord et babord du compas.

Les coefficients $\mathcal{A}$ et $\mathcal{E}$, liés intimement entre eux et aux valeurs de d et b, n'acquièrent de valeur sensible que lorsque le fer doux est placé dissymétriquement. $\mathcal{A}$, $\mathcal{D}$, $\mathcal{E}$ et λ ne varient pas pour le même navire (avec la même position du compas), quelle que soit la position géographique.

Pour un lieu donné, en observant les déviations à un certain nombre de caps, on formera un égal nombre d'équations de condition de la forme (7), ou (8) si les déviations ne dépassent pas 20 degrés. On en déduira les coefficients par la méthode des moindres carrés, qui est d'une application très-facile, quand les observations correspondent à des caps également espacés entre eux.

Les coefficients connus et substitués dans la formule (6) permettent de trouver la déviation à un cap quelconque par le calcul. On peut aussi employer une construction graphique (dygogramme) ([1]). En cours de navigation, il suffira de déterminer $\mathfrak{B}$ et $\mathfrak{C}$ en conservant pour $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, λ les valeurs initiales. Il suffit, pour cela, de *deux* observations de déviations à *deux* caps cardinaux. On peut même remplacer une des observations de déviation par une observation de force horizontale, obtenue par la méthode des oscillations ou par tout autre procédé.

3. *Correction mécanique des compas.* — On peut donc connaître facilement les déviations; mais il serait dangereux, comme on l'a vu, de laisser subsister des déviations trop grandes, surtout parce que l'aiguille à certains caps serait trop paresseuse : on a donc dû chercher les moyens de diminuer la grandeur des déviations. Cette question très-controversée s'élucide très-simplement au moyen de la théorie de Poisson et de M. Archibald Smith. C'est à M. Airy que revient l'honneur d'avoir mis la science sur cette voie.

On ne mentionnera que pour mémoire l'idée d'un marin anglais proposant de désaimanter les navires en fer. Cette conception est irréalisable, et d'ailleurs on n'arriverait ainsi à détruire qu'une partie de la déviation semi-circulaire.

La déviation semi-circulaire a pour maximum $\sqrt{\mathfrak{B}^2 + \mathfrak{C}^2}$. Elle peut être représentée par l'action d'un aimant qui, placé est et ouest avec un compas, le dévierait de cette quantité, et qui à bord ferait

---

([1]) On a admis, dans ce qui précède, qu'il n'y avait pas lieu de tenir compte de la composante verticale Z' des actions combinées de la terre et du navire. Cela est vrai quand le navire est droit; mais lorsqu'il est incliné, ou *à la bande*, la symétrie des actions par rapport au plan vertical du compas est dérangée. Quand le fer doux du navire est symétriquement distribué, le principal terme de l'erreur due à une inclinaison i est de la forme $J i \cos \zeta'$; J dépend de la force verticale et des coefficients de la déviation quadrantale. On peut annuler ce coefficient en plaçant un aimant vertical sous le compas, à une distance que le calcul permet de déterminer *sans faire incliner le navire*. J dépend du lieu où a été construit le navire. Dans les navires construits dans notre hémisphère, la pointe nord de l'aiguille est généralement attirée vers le bas du navire. Quand celui-ci s'incline, cette force produit une composante horizontale qui attire la pointe nord vers le côté élevé, c'est-à-dire au vent. Le fer doux horizontal transversal produit le même effet dans l'hémisphère nord et l'effet inverse dans l'hémisphère sud. La correction par un aimant permanent n'est rigoureusement vraie que pour un lieu déterminé.

avec la quille un angle α, tel que $\tang \alpha = \frac{\mathfrak{C}}{\mathfrak{B}}$. Elle sera détruite pour un lieu donné en plaçant parallèlement à la direction α un aimant horizontal, directement opposé à cet aimant fictif et produisant ainsi à cette place une déviation égale et contraire à celle que produit le fer dur du navire. Une fois α calculé, on peut déterminer la distance de l'aimant au compas, au moyen d'expériences faites soit à terre, soit à bord. Ce procédé est employé dans la marine royale anglaise.

Le procédé de M. Airy, pour corriger cette déviation, est plus simple et plus facile. On emploie pour cela deux barreaux aimantés, l'un parallèle, l'autre perpendiculaire à la quille, et horizontaux tous deux. La position des aimants peut se déduire du calcul et d'expériences faites à terre; il est plus simple de les placer par tâtonnements. Pour cela, le cap étant au nord magnétique, on amène l'aiguille à pointer exactement, en rapprochant ou éloignant un aimant transversal, puis on fixe celui-ci. On met ensuite le cap à l'est magnétique et l'on corrige la déviation à l'aide d'un aimant longitudinal. La correction sera exacte pour le sud et l'ouest.

On peut corriger la déviation quadrantale (généralement moins importante que l'autre) en disposant une ou plusieurs tiges de fer doux horizontal près du compas (*voir* ce qui est relatif au coefficient $\mathfrak{D}$). Cette correction, une fois faite, est bonne pour toutes les latitudes.

Enfin, en parlant de l'erreur due à la bande, nous avons indiqué un mode de correction.

Les modes de correction qui précèdent sont basés sur les formules de Poisson, et l'expérience en a confirmé la valeur. En fait, un opérateur exercé peut arriver à corriger un compas à $\frac{1}{2}$ degré près pour toutes les orientations. Le procédé est donc parfait *pour une latitude donnée;* ce qu'on y ajouterait ne serait qu'une superfétation parfois dangereuse.

Mais, en se reportant aux valeurs de $\mathfrak{B}$ et de $\mathfrak{C}$, on verra qu'*un aimant permanent ne saurait corriger l'action variable d'un lieu à un autre du magnétisme induit vertical,* et l'exactitude de la correction est d'autant moindre que le navire se déplace davantage en latitude. Seulement la séparation des indéterminées c, f, P et Q exigerait au moins quatre observations faites en des latitudes diffé-

rentes, et comme P et Q n'ont pas une constance absolue et dépendent du magnétisme sous-permanent, une tentative pour corriger c et f avec du fer doux vertical et P et Q avec un aimant ne pourrait être faite qu'avec une approximation douteuse et au bout d'une très-longue navigation, pendant laquelle on serait resté sans guide. Il est donc préférable de s'en tenir aux résultats que l'expérience a confirmés, en soumettant les compas corrigés à des vérifications aussi fréquentes que l'état du ciel le permettra, au moyen d'observations astronomiques.

Reste la difficulté de faire ces vérifications par ciel nuageux ou brumeux.

Divers essais ont été tentés dans cette voie; en France notamment, M. Raphaël, lieutenant de vaisseau, M. Dubois, professeur d'hydrographie, et, plus récemment, M. le lieutenant de vaisseau Fournier, ont indiqué des méthodes applicables à cet objet. J'ai moi-même donné un procédé (voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 12 mai 1873) dont les principes consistent à remplacer les observations de déviation par des observations de force horizontale. Cette force peut s'évaluer, en eau calme, par la méthode des oscillations; à la mer elle s'évalue en mesurant la déviation que subit l'aiguille sous l'influence d'un aimant mobile, disposé au-dessus du compas. On en déduit le rapport des valeurs de H' pour diverses orientations du navire, ou ces valeurs elles-mêmes, en tenant compte d'une constante instrumentale relative à l'aimant perturbateur, et la substitution dans les formules permet de calculer ou de construire $\mathfrak{B}$ et $\mathfrak{C}$, puisque $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$, λ sont des constantes que l'on a pu déterminer au port de départ. Au moyen des constantes, on peut alors retrouver le tableau des déviations.

Le problème de la régulation est donc résolu dans tous les cas de la pratique, et les solutions appuyées sur l'analyse de Poisson sont rigoureuses en théorie.

Il eût été impossible de comprendre, dans le cadre restreint de cette étude, l'historique si intéressant de la science des déviations : c'est à peine si l'on a prononcé le nom de M. Airy, du D[r] Scoresby et autres, qui l'ont tant fait progresser.

Nous renvoyons le lecteur aux Mémoires de Poisson, au *Cours de régulation des compas* de M. l'ingénieur hydrographe Darondeau (*Mémorial du Génie maritime*, 1863), au *Manuel de l'amirauté*

anglaise, par MM. Archibald Smith et Evans (traduction française par M. Collet, Dépôt de la Marine), et aux opuscules de M. Fournier

---

SÉANCE DU 25 JUILLET 1873.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Bontemps montre et décrit les appareils qui servent à la transmissions des boîtes de dépêches, poussées par l'air comprimé. Il parle des interruptions de service, causées par l'arrêt accidentel des boîtes dans les tuyaux, et donne les méthodes employées pour déterminer le point d'arrêt avec quelque précision.

Il fait une expérience devant la Société et montre le résultat.

La séance est levée à 9 heures et demie.

Note sur un procédé pour la détermination du point d'arrêt d'un convoi de dépêches dans les tubes pneumatiques; par M. Ch. Bontemps, Directeur des transmissions télégraphiques.

L'Administration des lignes télégraphiques distribue une partie des télégrammes de Paris au moyen de tubes souterrains dans lesquels circulent des curseurs mus par la pression de l'air.

Jusqu'à présent la détermination du point d'arrêt des curseurs a été faite par l'expérience suivante : on met en communication avec la ligne en dérangement un réservoir renfermant un volume V d'air à la pression H. Le partage s'effectue suivant la loi du mélange des gaz, de telle sorte qu'appelant X le volume de la section de ligne

et H′ la pression finale dans le réservoir (la pression atmosphérique étant supposée de $0^m,76$), on a la relation

$$VH + X \times 0^m,76 = (V + X)H',$$

qui permet de calculer X et, par suite, la distance de l'obstacle.

La précision de cette méthode est subordonnée à l'exactitude avec laquelle sont mesurés le volume V et les pressions H et H′. Dans la pratique, avec les instruments usuels qu'on trouve dans les postes, l'approximation du *millimètre de mercure* dans les lectures de H et H′ est difficile à atteindre. D'autre part, il existe toujours quelques fuites qui faussent les résultats.

Les expériences faites depuis 1866, pour rechercher les dérangements dans les tubes pneumatiques, ont montré que, par l'application du manomètre, il faut en moyenne *trois* fouilles successives pour dégager la ligne. Le nouveau procédé qui va être exposé permet d'atteindre une plus grande approximation dans l'évaluation de la distance. Il reproduit le mode d'observation employé par M. Regnault pour la recherche de la *vitesse de propagation des ondes sonores* dans les tuyaux.

On place à l'extrémité libre du tube une *membrane élastique* AB (*fig.* 1), dont les gonflements alternatifs peuvent être enregistrés sur un cylindre tournant, au moyen de l'électricité. Une onde est produite dans le tuyau par la détonation d'un pistolet placé auprès de la membrane. Cette onde chemine dans le tube à la vitesse de 330 mètres par seconde et vient buter contre l'obstacle; là elle se réfléchit, parcourt le tube en sens inverse et gonfle la membrane. On a ainsi sur le cylindre une *première* marque.

La membrane renvoie l'onde contre l'obstacle qui la réfléchit de nouveau vers la membrane, ce qui permet d'obtenir sur le cylindre une *deuxième* marque.

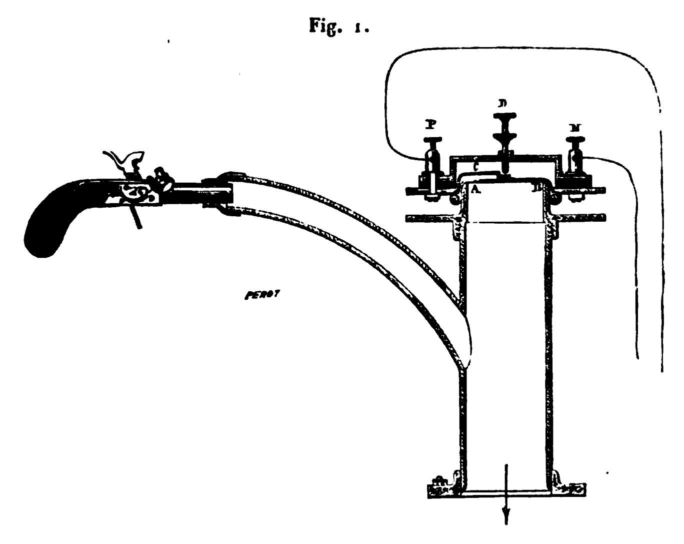
Si l'on réussit à évaluer l'intervalle de temps écoulé entre les apparitions des deux marques, il est aisé de voir qu'on pourra calculer la distance de la membrane à l'obstacle.

Le *chronographe* dont nous nous servons porte trois traceurs actionnés par des électro-aimants.

Le *premier* traceur est placé dans le circuit qui est fermé par les gonflements alternatifs de la membrane.

Le *deuxième* traceur correspond à un régulateur électrique marquant les *secondes* sur le cylindre.

Fig. 1.



AB membrane de caoutchouc. — C ressort métallique très-mince mis en rapport avec la pile par la borne P qui est isolée de toutes les autres pièces métalliques de l'appareil. — D vis qui est en communication avec la pile par le fil attaché à la borne N. — Le courant se ferme lorsque la membrane gonflée pousse le ressort C et le met en contact avec la vis D.

Le *troisième* traceur subdivise l'intervalle de la seconde au moyen des vibrations d'un trembleur électrique.

Voici un exemple (*fig.* 2) d'une détermination pratique :


Fig. 2.



Un obstacle est placé sur la ligne à une distance de 62 mètres.

Le trembleur exécute *trente-trois* oscillations par seconde.

L'intervalle occupé, sur la bande de papier qui recouvre le

cylindre, par deux marques consécutives de la membrane, correspond à douze oscillations.

La distance de l'obstacle se calcule par la formule suivante :

$$D = \frac{1}{2} \times 330 \times \frac{12}{33} = 60 \text{ mètres.}$$

L'approximation est donc de 2 mètres : le dérangement se trouverait relevé au moyen d'*une seule* fouille.

SÉANCE DU 14 NOVEMBRE 1873.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. G. Planté, professeur à l'Institution polytechnique, est élu membre de la Société.

M. Lissajous présente un appareil de M. Laurent, qui permet de rendre facilement observable et même de projeter sur un écran le phénomène de la réfraction conique. Il rappelle, à cette occasion, les expériences qu'il avait déjà faites sur ce sujet, il y a une vingtaine d'années, et dans lesquelles il avait signalé la condition expérimentale la plus essentielle pour le succès de l'expérience, qui est de diaphragmer fortement l'oculaire.

M. d'Almeida reproduit quelques-unes des expériences de M. Edelmann sur la projection des spectres des métaux au moyen de la lumière de Drummond. L'extrémité du chalumeau ordinaire est surmontée d'un cône creux en charbon de cornue, à l'extrémité duquel est enflammé le gaz. L'intérieur de ce cône est revêtu d'une pâte formée avec du picrate d'ammoniaque et le sel sur lequel on veut expérimenter. Les spectres du sodium, du baryum, du calcium, sont projetés par cette méthode et rendus parfaitement visibles à tous les membres de la Société.

M. Cazin fait part de nouvelles recherches qui l'ont amené récemment à découvrir qu'un courant traversant un mauvais conducteur est discontinu.

Les deux pôles d'une pile sont mis en communication avec les deux armatures d'un condensateur; dans le circuit est placée une bobine au centre de laquelle est placé un anneau de fer doux. Ce dernier entre alors en vibration, indiquant par là qu'un courant intermittent passe dans la bobine.

M. Cazin rapproche le fait dont il s'agit de la discontinuité qu'il a déjà observée dans l'étincelle électrique toutes les fois que cette étincelle jaillit entre des électrodes contraires accumulées sur de larges surfaces.

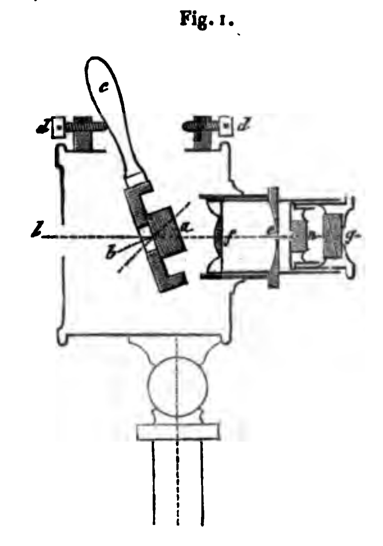
La séance est levée à 10 heures.

Appareils pour montrer la réfraction conique; par M. LAURENT, constructeur d'instruments d'optique.

Les deux appareils construits sont destinés à faire voir, soit par vision directe, soit en projection, l'expérience de la réfraction conique.

L'appareil est représenté (*fig.* 1). Il est monté à genoux sur un

Fig. 1.



pied à rallonge : en *a* se trouve une arragonite, sur l'une des faces de laquelle est une plaque percée d'un trou de $0^{mm},1$; cette arra-

gonite peut n'avoir que 6 millimètres d'épaisseur. La pièce qui porte l'arragonite tourne autour d'un axe passant exactement par le trou; cette pièce s'incline au moyen du levier *c*, limité dans sa course par les vis d'arrêts *d*. On regarde le trou à travers l'arragonite au moyen d'une loupe *f* munie d'un œilleton ayant $0^{mm},3$ de diamètre. Les apparences aperçues sont les suivantes : le cristal étant taillé perpendiculairement à la ligne moyenne, on ne voit qu'une seule image du trou quand les faces du cristal sont normales à la ligne *be*. Si l'on incline le cristal, l'image du trou se dédouble, et l'écartement des deux images va en croissant jusqu'au voisinage de la direction critique, où elle se déforme en lunules qui se joignent de façon à former un anneau; en dépassant cette direction, l'anneau se rompt, et la double image reparaît. On remarque que la fermeture de l'anneau se fait d'abord pour les rayons rouges, et que la rupture se fait en dernier lieu pour les rayons violets.

On peut rendre ce fait évident, en regardant l'anneau à travers un de ces verres violets qui ne laissent passer que le violet et le rouge. On peut alors avoir simultanément un anneau rouge sur lequel s'aperçoivent, aux extrémités d'un même diamètre, deux images violettes du trou ou bien un anneau violet avec deux images rouges.

Si l'on place, devant l'œilleton, un prisme biréfringent *g*, on aperçoit deux images de l'anneau, dont chacune présente un point absolument noir. Ces deux points sont à 180 degrés l'un de l'autre, et tournent chacun de 180 degrés quand on fait tourner le prisme de 90 degrés.

On peut, entre l'oculaire et l'analyseur biréfringent, interposer un quartz perpendiculaire *n*, et alors les deux cercles sont colorés de teintes brillantes sur leurs contours, les teintes complémentaires étant toujours situées, sur les deux cercles, à 180 degrés l'une de l'autre.

Dans la figure, les pièces *g* et *n* sont figurées en place; elles doivent évidemment être enlevées quand on veut voir simplement le phénomène de la réfraction conique. En éclairant l'appareil du côté *l* avec la lumière solaire ou la lumière Drummond, on peut projeter l'image de l'anneau sur un écran. Il est bon, avec la lumière Drummond, d'employer un verre dépoli et de regarder par transparence.

Observations sur la Note précédente; par M. Lissajous.

L'expérience de la réfraction conique *intérieure* avec réfraction cylindrique *extérieure* et celle de la réfraction conique *extérieure* ont été faites, pour la première fois, par M. Lloyd, et ont confirmé les études analytiques de M. Hamilton sur la surface de l'onde. L'expérience de la réfraction conique *extérieure* exigeait une arragonite épaisse sur les deux faces de laquelle étaient fixées deux plaques percées de trous étroits. La ligne de jonction de ces trous devait coïncider avec l'axe de réfraction conique. En projetant sur le premier trou un cône de rayons convergents, il émergeait par le deuxième trou un cône creux de lumière donnant une section annulaire sur un écran. En regardant directement à travers le deuxième trou, on apercevait une image diffuse avec une partie obscure au centre; l'expérience était d'un réglage difficile. En 1843, M. Soleil construisit pour cette expérience un appareil facile à régler : il se composait d'une arragonite portant un diaphragme très-étroit à sa face antérieure, d'une lentille faisant fonction d'éclaireur, et d'une loupe simple destinée à regarder l'image du trou à travers l'arragonite. Celle-ci se déplaçait au moyen de plusieurs rappels, jusqu'à ce que la vision se fît suivant la direction convenable. Seulement l'image aperçue était confuse et multiple; l'appareil, en effet, laissait arriver à l'œil, par l'ouverture de la pupille, beaucoup de rayons étrangers au phénomène que M. Lloyd éliminait par le diaphragme placé à la seconde surface de l'arragonite.

J'ai reconnu, en 1845, qu'il était possible de rendre le phénomène très-net par vision directe et par projection, en plaçant le second diaphragme non pas sur la surface de l'arragonite, mais à l'œilleton même de l'oculaire. Le principe de mon appareil a été indiqué par M. Billet, dans son *Traité d'Optique physique,* t. II, p. 372. J'ai fait construire alors par Lerebours un appareil spécial dans lequel l'oculaire était remplacé par un microscope muni d'un œilleton très-étroit. Cet appareil a été détruit pendant le premier siége de Paris par un obus. Il m'avait permis de faire voir nettement la transformation de la double image du trou en une image annulaire; de constater l'inclinaison variable sous laquelle l'anneau se ferme pour les diverses couleurs; de faire avec le verre violet l'expérience citée ci-

dessus ; et enfin de reconnaître, avec un analyseur, la direction du plan de polarisation aux différents points de l'anneau, comme l'avait déjà fait M. Lloyd. L'interposition d'un quartz perpendiculaire, entre l'analyseur et l'œilleton, m'a été indiquée par M. Duboscq. La part personnelle de M. Laurent consiste donc dans une disposition spéciale qui, en appliquant les mêmes principes, réalise commodément l'expérience. Le soin avec lequel les trous de ces diaphragmes sont percés, l'emploi de loupes à forts grossissements, qu'un petit microscope remplacerait peut-être avec avantage, lui ont permis d'utiliser, pour cette expérience, des arragonites peu épaisses, ce qui a un véritable intérêt aujourd'hui que les beaux cristaux de cette substance sont presque impossibles à trouver.

SÉANCE DU 28 NOVEMBRE 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Protche, colonel d'artillerie, commandant en second l'École d'Application de Fontainebleau ; Griveaux, professeur au lycée de Nîmes ; Hollande, professeur au lycée de Bastia ; Tranin, ancien préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, et Dupaigne, professeur au collége Stanislas, sont élus membres de la Société.

M. Maurat répète une expérience de regel due à M. Thomson, dans laquelle un fil métallique reposant sur un bloc de glace et supportant des poids à ses deux extrémités traverse ce bloc. Les deux fragments ainsi séparés sont ressoudés après le passage du fil.

M. Gernez présente diverses expériences nouvelles sur la surfusion et la sursaturation.

La séance est levée à 9 heures un quart.

Expériences de surfusion et de sursaturation; par M. D. Gernez.

Je me propose d'indiquer les dispositions qui me paraissent les plus faciles et les plus sûres pour réaliser quelques expériences de surfusion et de sursaturation, dont j'ai fait connaître depuis longtemps les résultats.

Surfusion du phosphore. — Dans un grand ballon de plusieurs litres de capacité, rempli d'eau distillée et qui sert de bain-marie, on introduit deux longs tubes fermés à un bout. Un bouchon retient les tubes et laisse passer aussi la tige d'un thermomètre, dont le réservoir descend entre eux.

Chacun des tubes contient une colonne de phosphore, sous une couche d'eau de 2 à 3 centimètres, et une longue tige métallique retenue par un bouchon, au-dessus du phosphore, dans l'axe du tube.

On chauffe l'eau du ballon à 45 degrés, et l'on y introduit les deux tubes contenant le phosphore que l'on a fondu au bain-marie. L'appareil, abandonné à lui-même, se refroidit; le phosphore reste liquide au-dessous de 44°,2, sa température de fusion, et l'expérience est prête pour plusieurs heures, à cause de la lenteur du refroidissement de la masse d'eau employée. La température peut descendre à 30 degrés, sans que le phosphore se solidifie; on peut même le maintenir liquide des semaines entières, pourvu que la température ne descende pas au-dessous de 10 degrés et que l'on ait mis dans la couche d'eau une petite quantité de potasse ou quelques gouttes d'acide azotique.

Dans ces conditions, vient-on à enfoncer la tige métallique de l'un des tubes dans le phosphore sans toucher les parois, on ne produit aucun effet; mais, pour peu que l'on comprime le phosphore entre la tige et le verre, la solidification commence au point touché et se propage en un clin d'œil jusqu'au bas du tube; la tige est retenue dans le phosphore solide, devenu opaque.

Dans l'autre tube, on ajoute un peu de phosphore rouge; on constate qu'il ne fait pas cesser la surfusion; on enlève la tige métallique et l'on touche de son extrémité un morceau de phosphore blanc solide, pour en détacher une parcelle infiniment petite, puis on l'amène au contact du phosphore surfondu, et la solidification a

lieu avant que la tige ait pénétré, à une profondeur sensible, dans le liquide.

Si l'on introduit au préalable une goutte de mercure avec un peu d'acide azotique, le phosphore incolore surfondu devient subitement noir au moment où l'on en provoque la solidification, et l'expérience peut être renouvelée aussi souvent que l'on veut.

Cette disposition expérimentale convient pour un certain nombre de corps, dont on veut observer la surfusion; par exemple pour le soufre, si l'eau du ballon est bouillante ou seulement supérieure à 80 degrés.

Sursaturation de l'azotate de chaux. — On fond de l'azotate de chaux cristallisé ($CaO, AzO^5 + 4HO$), dans un ballon où on le laisse refroidir; il reste liquide pendant des mois entiers dans un laboratoire, car le sel hygrométrique ne peut se disséminer dans l'air.

Versé sur une plaque de verre, le liquide s'y étale comme du collodion : il peut être touché par un corps quelconque sans cristalliser; mais, si l'on amène ce corps au contact d'un cristal d'azotate de chaux, puis qu'on le promène sur la plaque, on voit apparaître, aux points qu'il a successivement touchés, des cristaux qui s'allongent peu à peu et envahissent tout le liquide.

Sursaturation de l'acétate de soude. — L'acétate de soude cristallisé ($NaO, C^4H^3O^3 + 6HO$), additionné de quelques gouttes d'eau dans un ballon, et maintenu pendant quelques minutes en ébullition, donne par le refroidissement une masse cristallisée qui est en réalité un autre hydrate paraissant ne contenir que 1 équivalent d'eau. Entre ces cristaux se trouve emprisonné un liquide visqueux qui se conserve sans cristalliser, même lorsqu'on y introduit un corps quelconque, par exemple un tube contenant de l'éther; mais, au contact d'une parcelle saline de $NaO, C^4H^3O^3 + 6HO$, ce liquide cristallise à partir du point touché, blanchit par la production de cristaux d'indice de réfraction différent de ceux déjà déposés, et, la température s'élevant de 15 à 57 degrés, l'éther du tube introduit entre immédiatement en ébullition.

SÉANCE DU 12 DÉCEMBRE 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Gros, professeur au collége Stanislas, et le Dr Garran de Balzan sont élus membres de la Société.

M. Cornu résume ses derniers travaux sur la transformation des objectifs photographiques. Il montre qu'on peut trouver, dans la variation de la distance des deux verres, un moyen d'obtenir sensiblement, dans un même plan, les foyers des rayons chimiques diversement réfrangibles qui ont la plus grande activité. Il met sous les yeux de la Société quelques clichés obtenus au moyen d'instruments construits d'après ce principe.

M. Lissajous présente, au nom de M. Bourbouze, quelques expériences sur la composition des mouvements vibratoires au moyen de miroirs très-minces fixés sur des membranes fermant des orifices pratiqués dans les parois de deux tuyaux rectangulaires; on obtient avec une grande facilité les courbes caractéristiques des divers intervalles musicaux.

A cette occasion, M. Lissajous montre quelques dessins de ces courbes, obtenus au moyen de l'appareil à deux pendules oscillant dans des plans rectangulaires, imaginé par M. Tisley, de Londres.

M. Niaudet-Bréguet donne quelques détails sur la construction de cet instrument.

La séance est levée à 10 heures.

Méthode optique de M. Lissajous appliquée à l'étude des tuyaux sonores; par M. Bourbouze, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

On sait que les nœuds de vibrations dans les tuyaux sonores sont les tranches où l'air est immobile, mais où il subit des compressions et des dilatations *maxima*, synchrones avec la durée de la vibration.

On les constate ordinairement avec les capsules manométriques de M. König ; elles sont fixées sur un tuyau, sur lequel on a préalablement déterminé la position des nœuds pour le son fondamental et le premier harmonique, ou bien encore en introduisant, comme l'a indiqué William Hopkins, une membrane dans un tuyau ayant une face de glace. On voit vibrer cette membrane dans toute la longueur, excepté à l'endroit du nœud qui se trouve vers le milieu pour la note fondamentale. Malgré les services que peuvent rendre ces procédés, on doit préférer la méthode des projections, qui permet de montrer à un auditoire nombreux l'état de l'air dans les tuyaux sonores.

La modification que j'emploie consiste à remplacer la membrane simple par un petit tambour cylindrique, dont la hauteur est très-petite par rapport au diamètre et dont les deux bases sont formées par des membranes de caoutchouc. L'intérieur est mis en communication avec un récepteur analogue à ceux qu'emploie M. le Dr Marey. Les indications de ce petit appareil sont inverses de celles que donne la membrane simple, c'est-à-dire que les excursions des deux membranes du tambour sont les plus grandes là où la membrane simple ne vibrait pas.

Pour rendre cet effet visible de loin, on colle sur la membrane [1] du tambour récepteur un petit miroir argenté très-léger, qui oscille avec elle. Si l'on fait réfléchir sur ce miroir les rayons partis d'un point lumineux, et qu'on en projette l'image sur un écran avec une lentille, on voit cette image s'allonger, comme dans les expériences de M. Lissajous. Elle a son maximum d'allongement quand le tambour explorateur est au nœud. Elle se rapproche de l'immobilité, et s'y maintient, quand le tambour s'éloigne du nœud pour se placer sur un ventre. Cette disposition permet donc d'étudier, par la méthode optique, l'état de l'air dans les tuyaux ouverts.

Après avoir déterminé les positions des nœuds pour un son fondamental et un premier harmonique, on perce le tuyau à ces endroits et l'on bouche les orifices avec des membranes sur lesquelles on colle, comme sur la membrane du tambour récepteur, un petit

---

(1) M. Lissajous a, dès 1857, employé un miroir collé sur une membrane pour en constater le mouvement vibratoire; il m'autorise lui-même à remarquer qu'il n'en avait fait aucune application.

miroir argenté. Alors, si l'on fait rendre au tuyau sa note fondamentale, il est facile de montrer, à l'aide de la même disposition optique, que la membrane du milieu entre seule en vibration, tandis que les deux autres restent immobiles. Le contraire arrive si l'on fait rendre au tuyau son deuxième harmonique.

Pour obtenir les figures acoustiques qui résultent de deux mouvements vibratoires rectangulaires, on se sert de tuyaux fermés T, T′ (*fig.* 1) portant sur leur fond des membranes à tension variable, que l'on dispose sur le trajet du rayon lumineux, de façon que, après les deux réflexions sur les petits miroirs, l'image du point lumineux produite par la lentille vienne se projeter nettement sur le tableau MM′. Avant de faire parler les tuyaux simultanément pour produire les courbes caractéristiques des différents intervalles musicaux, il faut s'assurer que les miroirs vibrent séparément dans des plans rectangulaires, c'est-à-dire que les traces lumineuses rectilignes AA′, BB′, produites séparément par chacun d'eux, sont à angle droit. On obtient facilement ces conditions en faisant tourner, au besoin, l'un ou l'autre des deux tuyaux autour de son axe.

Fig. 1.



En plaçant une membrane à l'extrémité de résonnateurs de Helmholtz, ou à l'extrémité de tubes de caoutchouc en communication avec ces instruments, on voit l'un des miroirs entrer en vibration quand on produit dans le voisinage un son mixte, contenant la note propre au résonnateur correspondant.

Je pense que ce procédé remplacera avantageusement, dans les cours et dans les recherches d'investigation, ceux dont on a jusqu'à présent fait usage.

SÉANCE DU 26 DÉCEMBRE 1873.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Gréhant présente et décrit la machine pneumatique à mercure, qu'il a fait construire par M. Alvergniat, pour l'extraction des gaz dissous dans le sang. Une opération de cette nature est exécutée sous les yeux des membres de la Société.

M. Mascart montre un petit spectroscope où la dispersion est produite par un réseau obtenu à bon marché, au moyen de reproductions photographiques d'un autre réseau tracé avec le plus grand soin. Il rappelle, à cette occasion les essais qu'il a faits, il y a déjà plusieurs années, pour obtenir des réseaux au moyen de la photographie.

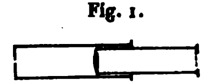
M. Fizeau fait observer que ces essais, qui n'ont pas eu de résultats entièrement satisfaisants, pourraient réussir peut-être aujourd'hui en se servant des objectifs construits conformément aux règles posées dernièrement par M. Cornu.

La séance est levée à 10 heures.

Spectroscope de M. Ladd; par M. Mascart.

M. Mascart présente une sorte de spectroscope construit par M. Ladd, dans lequel la dispersion est produite par un réseau. L'instrument se compose simplement d'un tube de 15 centimètres, terminé d'un côté par une fente F, de l'autre par un petit réseau R,

Fig. 1.

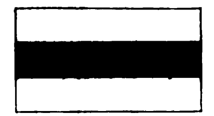


et renfermant une lentille qui sert de collimateur. Les réseaux tracés à la machine à diviser sont toujours des objets assez coûteux;

mais celui qui existe dans l'appareil actuel est une photographie d'un excellent réseau sur verre. Sans doute l'épreuve ainsi obtenue ne vaut pas la pièce originale; mais les traits y sont distants de moins de $\frac{1}{100}$ de millimètre, les spectres assez étalés sont très-purs, et ils pourraient servir à des déterminations de longueurs d'onde. Employé comme spectroscope, ce petit instrument montre aisément les raies du spectre solaire; il a seulement l'inconvénient d'exiger plus de lumière que le spectroscope ordinaire. L'intérêt qu'il présente est de mettre à la disposition des physiciens, pour une somme minime, des réseaux de très-bonne qualité.

Toutefois, il est moins éclatant qu'un bon réseau sur verre. Vu au microscope, les traits noirs ne sont pas tout à fait obscurs, ils ont des franges plus claires (*fig.* 2), et les blancs eux-mêmes ne sont

Fig. 2.



pas entièrement transparents. Ces franges sont dues au système optique qui a servi à faire la photographie.

ALLOCUTION DE M. FIZEAU.

(Séance du 9 janvier 1874.)

En cédant aujourd'hui, conformément aux statuts de la Société, la présidence de nos séances, pour l'année 1874, au vice-président de l'année 1873, je veux d'abord vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant à diriger vos premières réunions, et je dois ensuite vous rendre compte en quelques mots de la situation actuelle de la Société et de ses progrès si marqués pendant l'année qui vient de finir.

Depuis le 17 janvier 1873 nos séances bimensuelles ont eu lieu, comme vous le savez, avec la plus grande régularité; et, grâce au zèle empressé d'un grand nombre de nos collègues et aussi aux soins assidus de notre secrétaire général, on peut dire que ces séances ont été presque toujours bien remplies par des communications importantes et des expériences pleines d'intérêt.

Plusieurs séances extraordinaires ont été de plus consacrées, à l'époque des vacances, à répéter les expériences les plus saillantes devant ceux de nos confrères qui n'habitent pas Paris et qui s'y trouvaient alors momentanément; ajoutons, sans craindre d'être démenti, que ces diverses réunions ont été pour nous tous l'occasion des plus agréables relations et de la meilleure confraternité.

Le nombre des membres qui composent aujourd'hui la Société est de près de 200; il était à l'origine de 70 : l'accroissement a donc été très-rapide et se continue encore par de nouvelles admissions que vous votez presque à chacune de nos séances.

Un rapport sur les recettes et dépenses de la Société vous sera présenté dans cette séance par notre trésorier; mais dès maintenant je puis vous donner l'assurance que nos finances sont en bon état, et que nos ressources nous permettront de nous occuper, dès que vous le jugerez convenable, du choix d'un local plus approprié aux séances de la Société que le local actuel, dont nous devons la jouissance à la libéralité de M. le recteur de l'Académie de Paris. Une

proposition sur ce sujet vous sera soumise incessamment par le conseil.

Je vous rappellerai que, dans le courant de cette année, vous avez constitué par élection le conseil de la Société, composé de douze membres résidant à Paris et d'autant de membres non résidants, et que ce conseil fonctionne aujourd'hui régulièrement. Vous avez également organisé une bibliothèque circulante en faveur des membres de la Société, bibliothèque qui fonctionne depuis quelques mois et sur laquelle il vous sera fait un rapport qui vous permettra d'en apprécier l'utilité et l'importance.

Enfin vous avez publié le Bulletin des séances (janvier-juin 1873); le second fascicule (juillet-décembre 1873) est sous presse, et sera distribué incessamment.

D'après cet aperçu, Messieurs, vous conclurez, je l'espère, que notre œuvre commune est en bonne voie, et qu'après avoir surmonté les difficultés et les incertitudes qui se rencontrent à tous les débuts, la Société de Physique a désormais devant elle un avenir assuré, avenir vers lequel nous devons tous marcher avec confiance et bon espoir, tout en continuant de rester fidèles à la prudence et à la modération, comme nous l'avons fait jusqu'ici. Nous ne pouvons manquer ainsi d'obtenir bientôt, d'une manière plus complète encore que dans nos premières réunions, ces résultats à la fois si profitables à la Science et à chacun de nous, c'est-à-dire le travail en commun, l'échange des idées, l'appui mutuel, les bonnes relations et souvent même l'amitié.

LISTE

DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

ALGLAVE, Directeur de la Revue Scientifique, 36, rue Gay-Lussac.

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

ALMEIDA (**d'**), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.

ALVERGNAT, Constructeur d'instruments de physique, passage de la Sorbonne.

ANDRÉ (**Ch.**), Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 145, boulevard Saint-Michel.

ANGOT, Préparateur de physique au Collége de France, 24, rue Gay-Lussac.

ARCHAMBAULT (**J.**), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.

ARNOYE, Professeur au Collége de Castelsarrasin.

AUBRY, Professeur au Collége de Châlons-sur-Marne.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.

BALARD, Membre de l'Institut, 100, rue d'Assas.

BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 44, rue Madame.

BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.

BEAUME, Professeur au Lycée d'Orléans.

BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.

BECQUEREL, Membre de l'Institut, au Muséum.

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum.

BENEVIDES (**Francisco da Silva**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 34, rue Madame.

BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.

BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm.

BERTRAND, Membre de l'Institut, 9, rue des Saints-Pères.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

BILLET, Professeur à la Faculté de Dijon.

MM.

BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes.
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, ancien Professeur de physique, 53, rue du Bac.
BOUDRÉAUX, Préparateur de physique au Lycée Henri IV.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 276, rue Saint-Jacques.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURGET, Directeur des Études, à Sainte-Barbe.
BOUTAN, Directeur de l'Instruction primaire, 4, rue Madame.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, Professeur au Lycée de Reims.
BRANLY, Répétiteur à l'École des Hautes Études, 58 *bis*, rue Gay-Lussac.
BRÉGUET, Membre du Bureau des Longitudes, 39, quai de l'Horloge.
BRION, Professeur au Collége Rollin, 27, boulevard Saint-Michel.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 89, rue de Rennes.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CAILLETET, Manufacturier, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Henri IV, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVALLIÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CAZIN, Professeur au Lycée Condorcet, 54, rue d'Enfer.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de *la Confiance*, 21, rue de Grammont.
CHAUTARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.
CIVIALE (A.), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
CROIX, Préparateur de physique au Lycée d'Orléans.
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Examinateur à l'École Polytechnique, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DEHÉRAIN, Professeur à l'École de Grignon, 15, rue de Madrid.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
DELEVEAU, Professeur au Collége de Montauban.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DESCHANEL, Proviseur du Lycée de Vanves.

MM.

DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Lodève.
DOULIOT, Principal du Collége de Châtillon-sur-Seine.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
DUCLOS, Professeur au Collége de Béziers.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de physique, 21, rue des Ursulines.
DUPAIGNE, Professeur au Collége Stanislas.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.

ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville.
ÉLIE DE BEAUMONT, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 5, rue de Lille.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FERNET, Répétiteur à l'École Polytechnique, 93, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FONTAINE (**Hippolyte**), 52, rue Saint-Georges.
FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire, 127, boulevard Saint-Michel.

GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARDIER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 17, boulevard du Temple.
GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.
GARRAN DE BALZAN, Docteur en Médecine, 53, rue Censier.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 19, rue de Varennes.
GAY, Professeur au Lycée d'Orléans.
GAYON, Préparateur de physique à l'École Normale supérieure.
GERNEZ, Professeur au Lycée Descartes, 105, boulevard Saint-Michel.
GIRARD (**Ch.**), Manufacturier à Ris-Orangis (Seine-et-Oise).
GIRARD (**M.**), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.
GIRARDET, Professeur au Lycée de Versailles.
GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 49, rue d'Hauteville.
GOSSIN, Censeur du Lycée de Marseille.
GOUILLAUD, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.
GRÉHANT, Professeur suppléant à la Faculté des Sciences de Paris, 74, rue des Feuillantines.
GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.
GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Nîmes.
GROS, Professeur au Collége Stanislas, 3, rue Malebranche.
GROSSETÊTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.
GUELPA, Principal du Collége de Sétif.
GUÉRARD (**le Dr**), ancien médecin de l'Hôtel-Dieu, 10, carrefour de l'Odéon.

MM.

GUILLEBON (de), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, Vierzon.

HOLLANDE, Professeur au Lycée de Bastia.

ISAMBERT, Professeur à la Faculté de Poitiers.

JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collége de Turcoing.
JANSSEN, Membre de l'Institut, 21, rue Labat.
JOLY, Ferme de Pargny (Ardennes).
JOUBERT, Professeur au Lycée de Montpellier.
JUNGFLEISCH, Conservateur des collections, à l'École Polytechnique.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'acoustique, 30, rue Hautefeuille.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.
LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Vendôme.
LAURENT, Constructeur d'Instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Professeur à l'École de Cluny.
LEBOSSET (l'Abbé), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).
LECARME, Professeur au Collége Chaptal.
LECHAT, Professeur au Lycée Descartes, 83, boulevard Saint-Michel.
LEMOINE (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (G.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 19, rue du Sommerard.
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 4, rue de Braque.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte.
LÉVISTAL, Docteur ès sciences, 8, rue de Bagneux.
LEVY (Armand), Professeur de Physique au Lycée d'Orléans.
LIPPMANN, ancien Élève de l'École Normale, en mission.
LISLEFERME, Ingénieur en retraite, à Rochefort.
LISSAJOUS, Professeur au Lycée Saint-Louis, 38, rue des Écoles.
LUCIANI, Professeur au Collége d'Ajaccio.
LUYNES (de), Professeur au Conservatoire des Arts-et-Métiers, 61, rue de Vaugirard.

MANGIN, Commandant du Génie, 13, avenue Lowendal.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 80, boulevard Saint-Germain.
MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 16, rue Tournefort.
MASSE, Professeur au Collége de Brive.

MM.

MASSON (G.), 17, place de l'École-de-Médecine.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 27, rue Caumartin.
MEUNIER-DOLFUSS, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, à Mulhouse.
MONCEL (du), à Lebisey (près Caen).
MONTEIL, Professeur au Lycée de Pau.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MOROT, Professeur à Sainte-Barbe, 28, rue Tournefort.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.

NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET-BRÉGUET, Constructeur d'instruments de précision, 39, quai de l'Horloge.

OGIER, 11, boulevard du Temple.

PASSOT (Dr), Aide-Major au 21e bataillon de Chasseurs à pied, à Montauban.
PATIN, Professeur au Collége Stanislas, 43, rue Madame.
PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
PHILIPPON, Secrétaire de la Faculté des Sciences de Paris, à la Sorbonne.
PICHOT, Professeur au Lycée Descartes, 3, boulevard du Palais.
PLANTÉ, Professeur à l'Institution polytechnique.
POIRÉ, Professeur au Lycée d'Amiens.
POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.
PROTCHE, Commandant en second de l'École Polytechnique.
PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 37, rue Madame.

RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.
RAYET, Astronome adjoint à l'Observatoire, 75, rue Notre-Dame-des-Champs.
RAYNAUD, Directeur des Transmissions télégraphiques, 5, place Sorbonne.
ROMILLY (de), 8, rue de Madrid.
ROMMIER, 6, place Saint-Sulpice.
ROSENSTIEHL, Chimiste, 1, faubourg de Belfort, Mulhouse.
RUHMKORFF, Constructeur, 13, rue Champollion.
SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut, 47, rue Madame.
SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.

MM.

SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Physique, 1, rue du Siphon, Mulhouse.
SCHŒFFER, Professeur au Collége de Béziers.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SOBAUX (l'Abbé), Professeur au Petit Séminaire de Paris, 19, rue Notre-Dame-des-Champs.
STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Agrégé, à Toulon.
TERNANT, Représentant de la Cie de l'Eastern Telegraph, 8, rue Pavé-d'Amour, Marseille.
TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
THENARD (Arnould), 6, place Saint-Sulpice.
TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.
TRANIN, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille.
TRIPIER (le D^r), 6, rue Louis-le-Grand.

VAN MALDEREN (J.), Constructeur d'appareils électro-magnétiques, 17, rue Dufrénoy.
VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 45, boulevard Saint-Michel.
VERMEILLE, Professeur au Collége de Cambrai.
VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.
VILLIERS (Antoine), 8, rue du Havre.
VIMERCATI (G.), Directeur de la *Rivista scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).
VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.
WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 7, rue de Bréa.
WOLFF, Facteur de pianos, 22, rue Rochechouart.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

Février 1874.

TABLE DES MATIÈRES.

1090 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1874.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
4003 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1874.

PARIS,
AU SIÉGE PROVISOIRE DE LA SOCIÉTÉ,
SALLE GERSON,
près de la Sorbonne.

—

1874

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 9 JANVIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Laurent, constructeur d'instruments d'optique, Ch. Martin et Armand Lévy, professeur de Physique au lycée d'Orléans, sont élus membres de la Société.

M. d'Almeida expose les résultats obtenus par M. Melsens pour la liquéfaction des gaz absorbables par le charbon. M. Melsens parvient, à l'aide d'un dispositif très-simple, à répéter les expériences classiques de Faraday; à cet effet, il fait absorber à froid le gaz qu'on veut liquéfier par du charbon soigneusement purifié; ce charbon est placé dans un long tube présentant une courbure et qu'on scelle à ses deux extrémités après l'absorption du gaz. Par l'action d'une chaleur modérée, le gaz absorbé se dégage et vient se condenser dans la courbure, préalablement refroidie dans un mélange réfrigérant.

Un de ces tubes, contenant du cyanogène, fonctionne devant les membres de la Société et fournit une dizaine de centimètres cubes de cyanogène liquide.

Une discussion, à laquelle prennent part MM. Bertin, Lissajous, Le Blanc et Fernet, s'engage sur la relation ordinairement acceptée

sur la proportionnalité du pouvoir absorbant du charbon pour un gaz à la solubilité de ce gaz dans l'eau. La conclusion ressort des expériences de M. Melsens : cette loi n'est pas exacte; la divergence la plus grande est relative au chlore, qui est loin d'être le plus soluble dans l'eau et qui est absorbé par le charbon beaucoup plus que tous les autres gaz.

Il est ensuite procédé à l'élection d'un vice-président, en remplacement de M. Bertin, vice-président, qui passe président pour l'année 1874, conformément aux statuts. A la presque unanimité des suffrages, M. Lissajous est nommé vice-président pour l'année 1874.

M. Fizeau, président sortant, en cédant la présidence à M. Bertin, adresse à la Société ses remercîments et résume en quelques mots les résultats intéressants obtenus depuis la fondation de la Société, et les progrès qui restent encore à accomplir. Ces paroles sont accueillies dans l'auditoire par des marques de vive sympathie.

La séance continue sous la présidence de M. Bertin, qui adresse également ses remercîments à la Société.

Il est procédé ensuite à l'élection d'un vice-secrétaire, en remplacement de M. Cornu, qui devient secrétaire pour l'année 1874, conformément aux statuts. A une très-grande majorité, M. Mascart est élu vice-secrétaire pour l'année 1874.

M. d'Almeida, secrétaire général, lit, au nom de M. Philippon, trésorier de la Société, momentanément empêché, un aperçu des comptes de l'année échue et du budget de l'année 1874.

Les comptes détaillés seront présentés prochainement à l'approbation de la Société, après avoir été vérifiés par trois membres, conformément aux statuts.

On procède à l'élection de ces trois membres : MM. Baron, Bourget et Moutier sont élus à une grande majorité.

Enfin la Société vote, par assis et levé, sur la proposition faite par le bureau, de proroger d'une annéeles pouvoirs du Conseil d'administration, nommé il y a quelques mois seulement. La proposition est adoptée.

La séance est levée à 9 heures et demie.

SÉANCE DU 23 JANVIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

MM. Aubouy, professeur au collége de Pézenas; Bourdon, ingénieur mécanicien; Barthélemy, professeur au lycée de Toulouse, et M. Blavier, inspecteur du télégraphe, sont élus membres de la Société.

M. Marey expose les résultats de ses recherches sur l'analyse et la synthèse des conditions mécaniques du vol des oiseaux. Il décrit en particulier les expériences qu'il a entreprises pour démontrer l'inégale résistance produite par l'air sur l'aile de l'oiseau, lorsque l'oiseau est au repos et qu'il est animé d'une certaine vitesse. Dans le premier cas, la résistance paraît trois fois moindre encore que dans le second. Il décrit ensuite un petit chronographe enregistreur qui transmet, à l'aide d'un courant électrique, un mouvement vibratoire à telle distance et dans telles conditions que l'on veut.

M. Mascart présente deux cathétomètres, l'un de précision médiocre construit par M. Golaz; l'autre de précision construit par M. Brünner. Le principal perfectionnement de ce dernier consiste dans l'équilibre du chariot mobile à l'aide d'un poids fixe, par l'intermédiaire d'un double cordon et de deux poulies.

M. Lissajous, à propos d'une communication académique, rappelle divers résultats relatifs à ses recherches sur l'obtention du nombre absolu de vibrations d'un son; il donne quelques détails sur les précautions nécessaires dans l'emploi de la méthode optique, causées par l'extrême sensibilité de la méthode. Il indique divers moyens d'y remédier et appelle l'attention des acousticiens sur l'entretien électrique des diapasons, suivant la méthode de M. Mercadier.

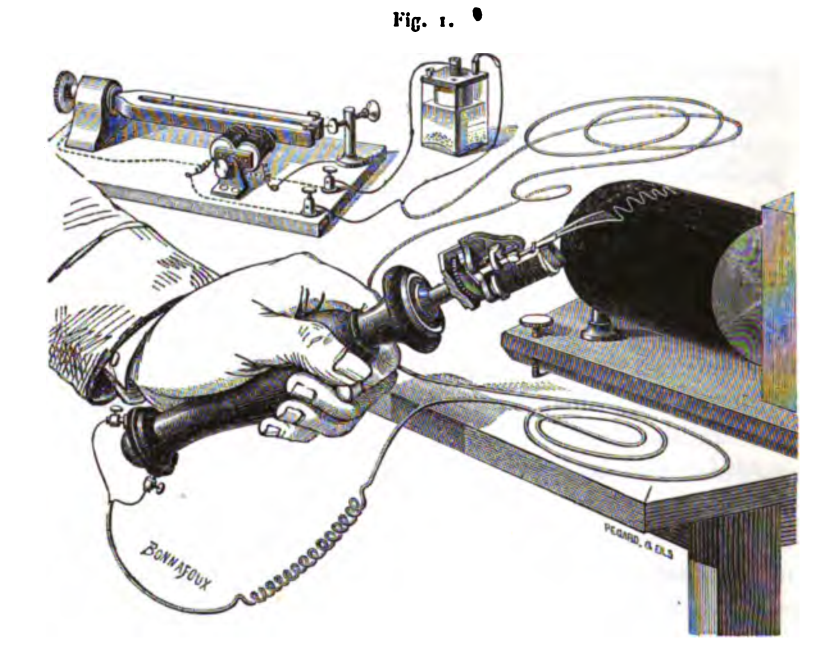
La séance est levée à 9 heures et demie.

Note sur un nouveau chronographe; par M. E. Marey.

Duhamel, en imaginant l'emploi du diapason inscripteur pour mesurer les intervalles de temps de courte durée, a ouvert une voie nouvelle à la Physique, à la Physiologie, à la Balistique, etc. On peut, au moyen de cette admirable méthode, estimer des durées qui n'excèdent pas $\frac{1}{25000}$ de seconde.

Plus tard, MM. Lissajous, Helmholtz, Regnault ont réussi à entretenir électriquement les vibrations du diapason et à recueillir des traces chronographiques d'une durée illimitée; tout récemment enfin, M. Mercadier a réduit à une grande simplicité le diapason

Fig. 1.



chronographe entretenu par un courant électrique. Il semblait que cette méthode de Duhamel fût arrivée à son dernier perfectionnement; cependant, quand on emploie la méthode graphique à la détermination de plusieurs actes simultanés, on se trouve souvent fort embarrassé pour se servir du diapason chronographe, que son volume considérable rend fort incommode lorsqu'il faut, dans une

même expérience, rassembler, aussi près que possible les unes des autres, plusieurs pointes écrivantes.

Ces raisons m'ont engagé à construire un chronographe aussi maniable que possible, et j'ai adopté la disposition représentée dans la *fig.* 1.

On voit, dans cette figure, le chronographe tenu à la main, tandis que le style vibre et trace sur un cylindre enfumé. La partie essentielle de l'instrument n'a pas plus de 6 centimètres de long sur 2 $\frac{1}{2}$ de largeur; le manche dont la figure permet de fixer les dimensions peut être réduit autant que l'exigeraient les besoins spéciaux de l'expérimentateur.

Trois parties distinctes constituent l'appareil : une pile, un diapason interrupteur et le chronographe. Cette dernière partie, que j'ai seule à décrire, consiste en un style effilé, fixé à l'extrémité d'une lame d'acier et muni d'une petite masse de fer doux. Si le style est destiné à inscrire le centième de seconde, il faut que la lame d'acier qui le porte ait une longueur déterminée. A cet effet, la lame est saisie dans un étau mobile qu'une vis de réglage permet de déplacer de manière à changer la longueur de la partie vibrante. A côté du style armé d'une petite masse de fer doux est un petit électro-aimant qui en entretient les vibrations en produisant une série d'attractions renouvelées cent fois par seconde.

Il faut donc qu'un courant électrique soit envoyé cent fois par seconde dans le petit électro-aimant qui agit sur le style; c'est à cela qu'est employé le diapason interrupteur.

Au dernier plan, sur la figure, on voit une pile dont l'un des fils se rend à un diapason de cent vibrations par seconde, semblable à ceux que M. Mercadier emploie directement comme chronographes. Ce diapason n'a ici d'autre rôle que d'interrompre le courant dans le circuit de la pile. Après avoir traversé l'interrupteur, le fil électrique s'accole à l'autre fil de la pile et tous deux, isolés l'un de l'autre, cheminent dans un câble flexible, pénètrent dans le manche du chronographe et se terminent chacun dans l'un des bouts de la bobine électromagnétique, dont l'action entretient les vibrations du style écrivant.

Si l'appareil est réglé de façon que le style du chronographe ait des vibrations propres de même nombre que celles du diapason, aussitôt que le circuit de la pile est fermé, on voit le style du chro-

nographe vibrer à l'unisson; mais si le style du chronographe n'est pas soigneusement accordé pour le nombre de vibrations que le diapason exécute, celui-ci vibre seul. Il suffit alors d'un léger tâtonnement pour amener, au moyen de la vis de réglage, le style au nombre voulu de vibrations; aussitôt on le voit entrer en mouvement, et ses vibrations durent tant que la pile conserve une énergie suffisante, c'est-à-dire indéfiniment.

Un même chronographe peut donner à volonté différents nombres de vibrations par seconde; il faut alors prendre, comme interrupteurs, des diapasons du nombre que l'on veut obtenir, et régler le chronographe à l'unisson de l'interrupteur employé.

Enfin on peut, avec un même interrupteur, donner au chronographe des nombres de vibrations qui varient du simple au double. Ainsi, avec un diapason de 100, on peut faire vibrer le chronographe deux cents fois par seconde; il suffit, pour cela, d'accorder le style à l'octave aiguë du diapason.

Le chronographe m'a permis d'exécuter certaines expériences où l'emploi direct du diapason eût été impossible. Grâce à la longueur du câble qui relie l'appareil à la pile et à l'interrupteur, on peut reléguer aussi loin qu'on veut ces pièces volumineuses, tandis que le style effilé du chronographe trouve aisément à s'insinuer au milieu des différents appareils qui doivent, avec lui, tracer sur le même cylindre. Enfin, dans certains cas, où il s'agissait de mesurer des vitesses, j'ai pu imprimer au chronographe des mouvements rapides et le faire tracer sur des surfaces immobiles. Ce genre d'expérience eût été absolument irréalisable avec l'emploi direct du diapason.

SÉANCE DU 13 FÉVRIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Laurent décrit un nouveau saccharimètre perfectionné sur le principe du saccharimètre à pénombre. Les points sur lesquels portent les perfectionnements sont les suivants : 1° la lumière de la

soude est dépouillée de ses rayons violets par transmission à travers une petite plaque de bichromate de potasse; 2° le champ de l'instrument présente, comme dans le saccharimètre à pénombre, deux moitiés offrant deux plans de polarisation...; l'angle de ces deux plans est variable par l'emploi d'une lame biréfringente atteignant la teinte jaune et occupant la moitié du champ; 3° une vis tangente permet le réglage de zéro avec une grande précision.

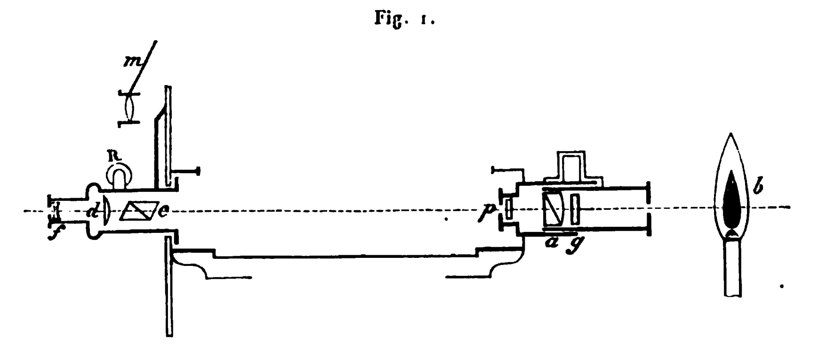
M. Bontemps décrit ses expériences sur l'écoulement de l'air dans les tuyaux de petit diamètre. L'assimilation des lois de cet écoulement avec les lois des courants électriques le conduit à une série d'expériences qui confirment le point de vue auquel il s'est placé. Les points les plus saillants de cette étude sont l'assimilation de la *perte de charge* le long d'un tuyau à la diminution du potentiel électrique le long d'un circuit; l'analogie de l'électromètre avec le manomètre, etc., etc. Enfin l'assimilation de la conductibilité calorifique des conduits au point de vue dialectique des corps isolants, c'est-à-dire l'analogie des phénomènes de perturbations produits dans les conduits aux phénomènes électriques observés dans les câbles.

La séance est levée à 9 heures et demie.

Nouveau saccharimètre; par M. LAURENT.

Tout saccharimètre se compose d'un polarisateur *a* (*fig.* 1) placé devant une flamme *b* et à une certaine distance; d'un analyseur *c*,

Fig. 1.



armé d'une petite lunette *df*. Entre les deux se place la dissolution

qui a la propriété de faire tourner le plan de polarisation des rayons qui la traversent.

On peut diviser les saccharimètres en deux groupes : l'un, dans lequel le sucre est compensé par du quartz, comme dans le saccharimètre Soleil, et dont, par suite, l'emploi est restreint; l'autre, dans lequel on mesure directement l'angle de rotation et qui s'applique à toutes les substances. Les instruments exigent alors l'emploi d'une lumière monochromatique.

Je citerai le saccharimètre de Wild; celui à pénombres, que MM. Cornu et Duboscq ont construit en se fondant sur l'emploi du prisme Jellett.

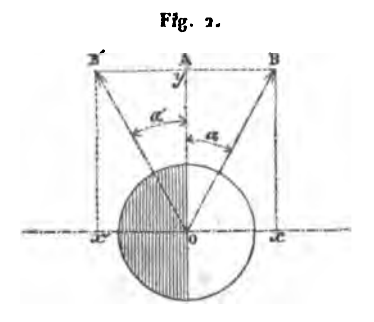
Le point capital, dont dépend surtout la grande précision d'un instrument, consiste dans la disposition particulière qui permet d'apprécier, le plus exactement possible, le moment de l'extinction totale ou partielle.

Diverses dispositions plus ou moins compliquées, ou plus ou moins précises, ont été réalisées : je citerai la plaque à deux rotations et la teinte sensible de M. Soleil ; la bilame de spath de M. Prazmowski, qui supprime la teinte sensible; le prisme de Senarmont et celui de M. Jellett, etc.

La disposition toute nouvelle que j'emploie, dans l'appareil représenté (*fig.* 1) en coupe longitudinale, consiste en ceci ; le système polarisant est composé de deux parties distinctes :

1° Un polariseur ordinaire *a*, nicol ou prisme biréfringent, pouvant tourner ;

Fig. 2.



2° Un diaphragme fixe *p*, divisé en deux moitiés, dont une seule (*fig.* 2) est recouverte par une lame mince de gypse ou de quartz parallèle à l'axe et ayant l'épaisseur dite *d'une demi-onde*.

Placée à 45 degrés du plan de polarisation, entre deux nicols tournés à l'extinction, elle donne le jaune correspondant à la raie D du sodium.

L'explication suivante du rôle de cette lame mérite un peu d'attention.

La *fig.* 2 représente le diaphragme p (*fig.* 1) agrandi, et tel qu'on le voit dans la lunette. La moitié gauche est recouverte par la lame de quartz dont l'axe est parallèle à la ligne de séparation OA, et la moitié droite laisse passer, sans la dévier, la lumière polarisée par le polariseur a (*fig.* 1).

Je supposerai d'abord le plan de polarisation parallèle lui-même à OA. Si l'on tourne alors l'analyseur c (*fig.* 1), on passera progressivement de l'extinction totale au maximum de lumière; mais les deux moitiés du disque seront toujours égales en intensité, exactement comme si la lame n'existait pas.

Cette lame est fixe, mais le polariseur est mobile. Je le fais tourner de manière que sa section principale vienne en OB (*fig.* 2), en faisant avec l'axe OA un angle quelconque α. Soit alors une vibration s'accomplissant dans un plan représenté par sa trace OB. Cette vibration, que je représente en longueur par OB, peut se décomposer en deux autres, l'une Oy, parallèle à l'axe OA de la lame, et l'autre Ox perpendiculaire.

Cette vibration passera sans déviation du côté droit; mais, du côté gauche, elle sera déviée par la lame. L'ordonnée Oy, étant parallèle à son axe, ne changera pas de signe; mais l'abscisse Ox, qui lui est perpendiculaire, viendra en Ox' à 180 degrés, puisque la lame a une épaisseur d'une demi-onde; de sorte que, du côté gauche, la vibration se fera en OB′, faisant avec l'axe OA un angle symétrique α' égal à α.

Si l'analyseur a sa section principale perpendiculaire à OB, il y aura extinction totale pour le côté droit, mais partielle pour le côté gauche, et réciproquement.

Quand elle sera perpendiculaire à l'axe OA, il y aura extinction partielle pour les deux côtés, et égalité de tons, puisque $\alpha = \alpha'$. En laissant l'analyseur fixe dans cette position, on peut, en tournant le polariseur, faire varier α de zéro à 45 degrés; on passe alors progressivement de l'extinction totale au maximum de lumière, et les deux côtés restent égaux entre eux.

Cet appareil donne donc d'une manière simple la solution générale de la question, à savoir, de rendre variable l'angle des sections principales de chacune des deux moitiés du diaphragme *p*, ce qui peut offrir certains avantages.

On peut d'abord faire facilement l'étude de l'angle fixe le plus convenable à donner dans des cas bien déterminés.

Pour les recherches, je ferai remarquer qu'il n'y a pas, à proprement parler, d'angle fixe particulier; car la précision dépend de deux choses qui tendent à se nuire : 1° un angle très-petit; 2° beaucoup de lumière. Or plus l'angle est faible, plus l'égalité de tons se fait près de l'extension totale, et moins il passe de lumière; alors, si l'on a affaire à une dissolution plus ou moins décolorée, et qui absorbe par conséquent plus ou moins de lumière, il ne restera presque plus rien : il faudrait donc augmenter l'intensité absolue de la lumière, ce qui est difficile, ou plutôt augmenter l'angle, ce qui est facile avec cet appareil. On pourra toujours se placer dans les conditions du maximum d'effet.

Cet appareil présente aussi quelques particularités mécaniques, mais sur lesquelles je n'insisterai pas, telles que les deux divisions, l'une en degrés du cercle, l'autre en centièmes de sucre, placées concentriquement à la partie supérieure et éclairées au moyen d'un miroir *m* (*fig.* 1). Le rappel au zéro est sans jeu, l'appareil équilibré et rendu très-stable, etc.

Du mouvement de l'air dans les tuyaux; par M. Ch. Bontemps.

Lorsqu'une conduite d'air débite à l'état de *régime*, on peut se demander comment varient les diverses pressions, observées avec le manomètre, lorsqu'on *chauffe* un des points. Nous citerons une expérience qui permet de formuler la proposition suivante : *De part et d'autre du point chauffé, la modification dans les pressions est inverse; devant le point chauffé, la pression augmente, derrière ce point elle baisse.*

Corollaire. — *Si l'on chauffe également deux points également distants du milieu de la conduite, la pression en ce point*

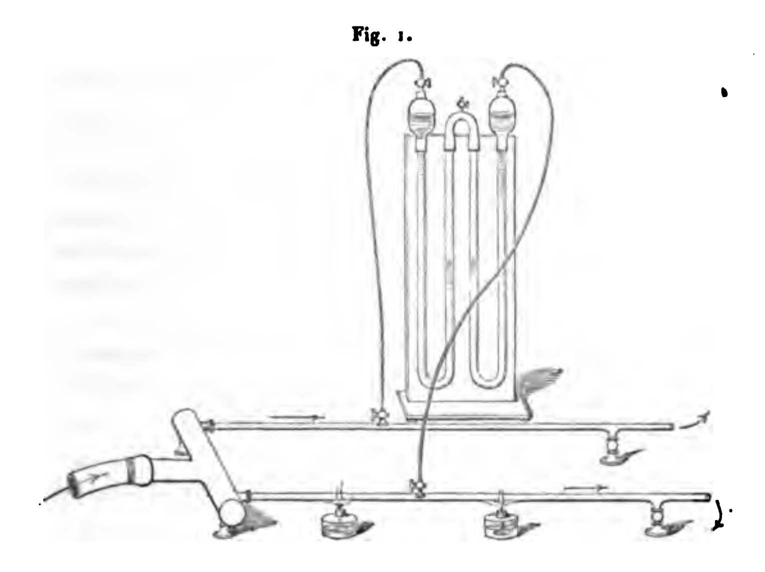
milieu n'est pas modifiée. L'expérience se fait ainsi : on divise un courant en deux branches égales ; le milieu de chaque branche est en relation avec un côté d'un manomètre différentiel très-sensible, qui peut accuser des différences de pression égales à $\frac{1}{10}$ de millimètre d'eau [1].

Si l'on chauffe un point de l'une des branches, on voit disparaître l'égalité initiale des pressions dans le manomètre différentiel ; le sens de la déviation est conforme à l'énoncé ci-dessus. Lorsqu'on chauffe également deux points de la même branche, également distants du point d'attache de la communication avec le manomètre, on rétablit l'équilibre.



La *fig.* 1 indique suffisamment la disposition de l'appareil.

Fig. 1.



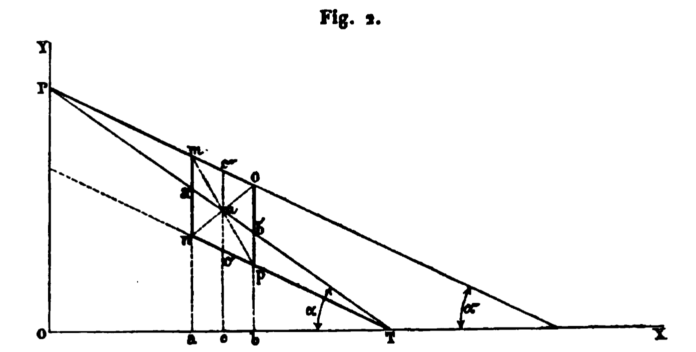
Nous ferons remarquer l'analogie de l'expérience avec celle qui consiste à introduire une *force électromotrice* dans un circuit galvanique ; la modification apportée à la distribution des tensions électroscopiques (conséquence de la loi d'Ohm) est de même nature que le changement des pressions dans le courant d'air.

Nous allons construire la figure qui traduit l'énoncé de la proposition, en faisant l'hypothèse de la distribution régulière de la

(1) Le manomètre différentiel est celui de M. Kretz.

perte de charge, correspondant à celle de la densité constante dans toute l'étendue du circuit. Si l'on rapporte (*fig.* 2) à deux axes OX,

Fig. 2.



OY, les positions des divers points de la conduite de débit et les pressions (tracé graphique d'Ohm, figurant sur les abscisses les résistances et sur les ordonnées les tensions), on prendra OT égal à la *longueur réduite* du tuyau (y compris celle qui correspond à l'analogue de la résistance de la pile), OP égal à la force aéromotrice, excès de la tension de la pompe sur la pression atmosphérique.

L'inclinaison de PT mesurera le *débit* (quantité en poids par seconde).

1° Supposons qu'on chauffe *a* seul : l'application de la règle donne sur le tuyau la distribution des pressions, figurée par la ligne brisée $Pma'nT$ (Pm est parallèle à nT).

2° Si l'on chauffe *b* (seul), la figure sera $PopT$.

Dans le premier cas, la pression en *c* (milieu de OT) sera cc'; dans le second cas, la pression en *c* sera cc''.

Il est évident sur la figure que la position *u* correspondant au chauffage simultané en *a* et en *b* se trouve sur la droite PT.

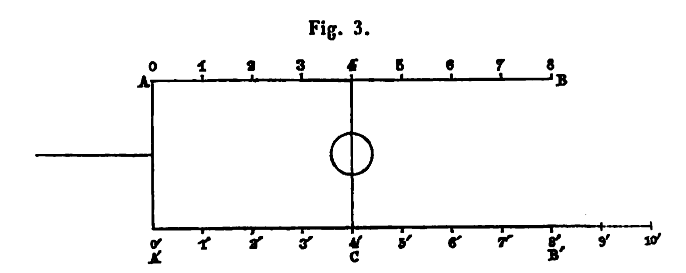
L'examen de la figure montre, en outre, qu'en chauffant une portion de la conduite, on diminue le *débit* (l'angle α' est plus petit que α), ce qui est conforme à l'expérience.

On peut rendre compte de la modification des pressions par une explication empruntée à la méthode de raisonnement qui convient à l'étude des courants galvaniques.

Représentons par les lignes AB, A'B' (*fig.* 3) les deux *résistances* égales des circuits dérivés. Les chiffres placés au-dessous de ces

lignes expriment en *unités de résistance* la résistance de la portion de tube (ou plutôt de la gaîne de gaz) correspondante ([1]).

Fig. 3.



Donnons une valeur arbitraire à la tension (pression) commune aux deux points A et A', soit 50 *unités de tension;* de même, soit 20 *unités* (valeur arbitraire) la tension commune aux points B et B'. La différence de tension de A en B, ou de A' en B', est de $(50 - 20) = 30$ unités, de telle sorte que la tension originelle en 4 et en 4' est 15 unités. Chauffons 1', suivant notre donnée, nous ne modifions pas la différence des tensions extrêmes, et la résistance A' B' s'accroît d'une certaine quantité de sa valeur totale; supposons pour la clarté que l'accroissement soit justement de 1 unité de résistance.

Tous les points, tels que 2', 3',..., 7', 8' reculent d'un intervalle égal, puisque l'accroissement équivaut à l'insertion d'une longueur égale à l'unité derrière le point 1', et la conduite A'B' doit être remplacée pour le raisonnement par la ligne 0'9' ; le point 4' notamment, où se fait l'observation du manomètre, doit être considéré comme reporté en 5' (*fig.* 4), auquel correspond, suivant un calcul facile, une tension de $13,33 = 30 \times \frac{4}{9}$, ce qui est conforme à l'énoncé : *Quand on chauffe un point, la pression diminue derrière ce point.*

Continuons à chauffer 1', chauffons aussi 7', nous ajouterons une nouvelle unité à la résistance 0' - 9', qui deviendra 0' - 10'. Les

---

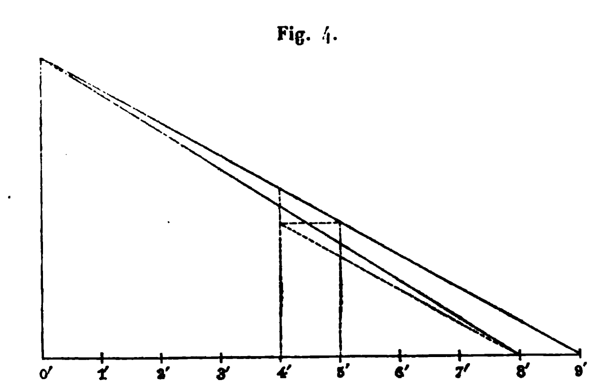
([1]) Nous faisons ici une application littérale de la loi d'Ohm, il faut entendre que la résistance est une propriété de la masse du fluide et qu'elle est représentée par des longueurs variables d'un tube type dont la section serait égale à l'unité.

Cette idée a été développée dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (mai 1874).

points derrière 7′ seuls devront être transportés suivant le mode de la *fig*. 4.

Les points devant 7′, et notamment 5′, où se fait l'observation du manomètre, resteront à leur place. La pression en 5′ est évidem-

Fig. 4.



ment 15; par conséquent, nous justifions le corollaire : *Si l'on chauffe également deux points également distants du milieu de la conduite, la pression en ce point milieu n'est pas modifiée.*

Nous indiquerons prochainement d'autres expériences montrant que l'analogie des phénomènes de régime d'un courant d'air et d'un courant électrique peut être étendue encore, et que les méthodes de mesure de la télégraphie électrique conviennent à la détermination de l'*intensité* d'un courant d'air.

L'expérience relatée ici est destinée à fournir la clef de la modification que subit la loi élémentaire du phénomène (loi d'Ohm), quand tous les points sont *chauffés*, ce qui est le cas d'une conduite plongée dans un milieu qui a une température propre, c'est-à-dire, le cas normal. Pour les courants électriques, le problème a été traité à fond par la méthode des dérivations : nous l'appliquerons au courant d'air.

SÉANCE DU 27 FÉVRIER 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Jungfleisch fait connaître les recherches par lesquelles il a réalisé la synthèse directe des acides tartriques doués du pouvoir rotatoire. D'après certaines idées émises en premier lieu par Biot et pratiquées par beaucoup d'autres savants, on considérait les substances douées du pouvoir rotatoire comme produites seulement dans les organismes vivants et par des actions que la science serait impuissante à provoquer. M. Jungfleisch, en partant du gaz oléfiant, composé facile à obtenir par synthèse, l'a transformé en acides tartriques optiquement inactifs; puis il a dédoublé le produit ainsi obtenu en deux acides symétriques entre eux, nettement caractérisés par les phénomènes optiques et cristallographiques, doués, l'un du pouvoir rotatoire à droite, l'autre du pouvoir rotatoire à gauche. L'acide droit est identique à l'acide naturel. Il fait connaître quelques résultats nouveaux, obtenus par l'application de ses méthodes à d'autres séries de composés organiques.

M. Cornu résume ensuite quelques-uns des travaux exécutés par la Commission du passage de Vénus, en vue de l'obtention d'images photographiques du Soleil. Il fait un exposé théorique de la question; il montre que le moment du contact peut être obtenu avec une grande exactitude et met sous les yeux de la Société, en les expliquant, les appareils qui seront employés par les observateurs.

La séance est levée à 10 heures.

Sur la transformation de l'achromatisme optique des objectifs en achromatisme chimique; par M. A. Cornu.

Je m'étais proposé le problème suivant à l'occasion des travaux préparatoires de la Commission du passage de Vénus :

Transformer l'objectif d'une lunette astronomique, achromatisée pour les rayons visibles, de manière à obtenir, au foyer principal, des épreuves photographiques dont la netteté soit comparable à celle des images optiques directes.

Des études antérieures sur la photographie du spectre ultra-violet (¹) m'avaient conduit à examiner la répartition des foyers des diverses raies du spectre dans une lunette de spectroscope, formée avec un objectif achromatique. Une graduation en millimètres, tracée sur le tube de tirage d'une semblable lunette, permet d'observer les faits suivants : si l'on note successivement le tirage de la lunette, après avoir mis *au point* avec beaucoup de soin l'image des principales raies du spectre projetées sur le réticule, on remarquera que la distance focale diminue d'abord depuis la raie A jusqu'aux raies B, C, D; il y a un minimum de distance focale vers la raie *b*, puis augmentation à partir de cette région; la raie F forme son foyer à peu près à la même distance que D, l'augmentation devient rapide à partir de G, si bien que le foyer des raies de l'extrémité visible du violet se forme en arrière du foyer de l'extrémité rouge. La photographie permet d'aller beaucoup plus loin, et l'on peut suivre la marche très-rapidement croissante des distances focales des radiations ultra-violettes.

De ces faits résulte la remarque suivante : la répartition des foyers de la région violette dans un objectif achromatisé est précisément inverse de celle qu'aurait produite un objectif non achromatisé; en effet, les rayons violets, étant les plus réfrangibles, ont une distance focale plus courte que les rayons rouges, lorsqu'on les fait réfracter à travers une lentille convergente de crown-glass :

(¹) *Voir* le *Compte rendu de l'Association française*, Congrès de Bordeaux, t. I, p. 300.

par exemple, l'addition d'une lentille divergente de flint-glass, qui tend à ramener les foyers de toutes les radiations dans un même plan, produit donc une action plus énergique sur les rayons violets que sur les rayons rouges, puisqu'elle allonge le foyer des premiers d'une plus grande quantité que celui des derniers. Il en résulte que, si par un moyen ou par un autre on diminue l'influence de la lentille divergente, on modifie la répartition des foyers des diverses radiations, telle qu'elle a été décrite plus haut, dans un sens qu'on peut aisément prévoir. Le foyer des rayons violets étant relativement moins repoussé que celui des rayons rouges (relativement au cas ordinaire), les rayons dont la distance focale est minimum se rapprochent du côté violet; l'achromatisme optique est alors altéré : en continuant à diminuer l'influence du verre divergent, on peut parvenir à placer la distance focale minimum dans la région comprise entre G et H. On obtient alors l'achromatisme chimique; car cette région est, pour les radiations chimiques, l'analogue de la région du spectre visible comprise entre D et F, par l'énergie des impressions qu'elle produit sur les substances photographiques, autrement dit, le *centre de gravité* des radiations actiniques est situé vers le milieu de l'intervalle G et H; comme dans le spectre visible ce point tombe aux environs de la raie *b*.

Quant au moyen de diminuer l'influence du verre divergent de flint-glass, le plus facile consiste simplement à l'écarter du verre convergent de crown-glass. On se rend compte aisément de cet effet en poussant la condition à l'extrême; en effet, si l'on plaçait le verre divergent au foyer même du verre convergent, son influence serait nulle; c'est en le rapprochant que son action augmente, jusqu'au moment où les deux verres sont en contact. Évidemment, dans une position intermédiaire, l'effet du flint-glass sera intermédiaire : *on est donc assuré, par un écartement convenable des verres, d'arriver à l'achromatisme chimique;* car on peut parcourir tous les degrés de répartition relative des foyers, depuis l'achromatisme optique qu'on peut considérer comme un achromatisme chimique *dépassé,* jusqu'au *non-achromatisme* [1].

---

[1] J'ai vérifié expérimentalement toutes ces déductions à l'aide d'un appareil assez simple : on dispose un objectif dont les verres peuvent être écartés à des distances

On peut donner une démonstration tout à fait élémentaire de cette méthode d'achromatisme chimique par écartement des verres, en supposant les lentilles sans épaisseur.

Soient p et p' les distances de deux foyers conjugués d'une lentille convergente formée d'un verre dont l'indice soit n pour un rayon donné; on a la formule bien connue

$$(1) \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}\right) = (n-1)P,$$

en désignant, pour abréger, la somme des courbures par P.

La formule analogue pour une lentille divergente sera

$$(2) \qquad \frac{1}{q} - \frac{1}{q'} = (n'-1)Q.$$

Si ces deux lentilles sont accouplées au contact (comme dans les

variables (jusqu'à 2 ou 3 pour 100 de la distance focale principale); en avant de cet objectif, on place un prisme dont l'angle est de 8 à 12 degrés, suivant la réfrangibilité de la matière, et dont l'une des faces est argentée, de manière à fonctionner à la fois comme prisme d'angle double et de miroir renvoyant les rayons dans la même direction. En arrière de l'objectif, on place un oculaire positif et un réticule portés par un tirage avec graduation : l'axe de cet oculaire est légèrement incliné sur l'axe principal de l'objectif, de manière à laisser place à une fente éclairée par la lumière du soleil ou d'une étincelle d'induction. Il est facile maintenant de se rendre compte du fonctionnement de l'appareil. La fente étant disposée verticalement au-dessous de l'oculaire, dans le plan focal principal de l'objectif, les rayons émanés de cette fente sont rendus parallèles après leur passage à travers l'objectif, réfractés par la première face du prisme, réfléchis par la seconde, réfractés une seconde fois (dans le sens de la duplication de la dispersion), puis ramenés sur l'objectif : le prisme n'altérant nullement le parallélisme des rayons si ses faces sont bien planes, les rayons vont converger dans le plan focal principal en un point situé au-dessus de la fente : c'est là qu'on place le réticule, entraîné par le mouvement commun du tube de tirage et de l'oculaire. En donnant au prisme un mouvement de rotation autour de son arête, on peut amener chaque raie sous le fil vertical du réticule et la mettre exactement au point sur ce fil; on peut donc ainsi mesurer la position relative des foyers de toutes les raies. On répète la même série d'observations pour les distances convenablement choisies des deux verres, et l'on vérifie les modifications successives d'achromatisme prévues par l'exposé précédent. Après ce résumé, il est facile de comprendre comment ces expériences constituent une véritable méthode optique pour l'étude rigoureuse de l'achromatisme.

Il n'est pas inutile d'ajouter que l'écartement des verres produit une diminution notable de la distance focale principale; avec les verres usités d'ordinaire, la variation de distance focale est sept ou huit fois plus grande que la variation de la distance des verres.

objectifs ordinaires), on calculera la distance focale principale φ du système, en faisant $p=\infty$, $q=p'$, $q'=\varphi$.

Si les deux verres sont écartés à la distance a, il faudra substituer $p=\infty$, $p'+a=q$, $q=\varphi$; et, en remplaçant la lettre p' par f, pour rappeler que p' est la distance focale principale du verre convergent, on aura

$$(3)\qquad \frac{1}{f-a}-\frac{1}{\varphi'}=(n'-1)\mathrm{Q},$$

avec

$$(4)\qquad \frac{1}{f}=(n-1)\mathrm{P}.$$

L'écartement des verres doit rester dans des limites très-étroites (1 à $1\frac{1}{2}$ pour 100 de la distance focale totale, environ $0{,}02f$ à $0{,}03f$).

On peut écrire ainsi le terme

$$\frac{1}{f-a}=\frac{1}{f\left(1-\frac{a}{f}\right)}=\frac{1}{f}\left(1-\frac{a}{f}\right)^{-1}.$$

La formule (3) devient, après substitution de la valeur (4) de f,

$$(5)\qquad \frac{1}{\varphi'}=\left(1-\frac{a}{f}\right)^{-1}\mathrm{P}(n-1)-\mathrm{Q}(n'-1).$$

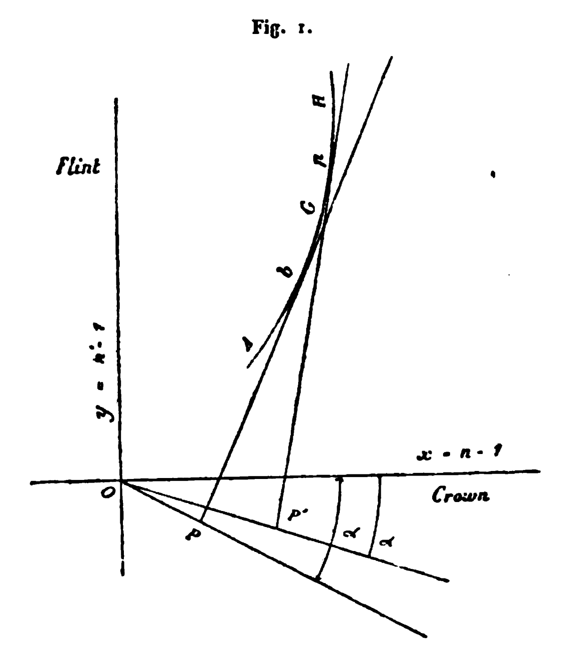
Pour interpréter cette équation d'une manière toute géométrique, nous aurons recours à la considération d'une courbe qui joue un grand rôle dans la représentation graphique des conditions d'achromatisme, et que pour cette raison j'appellerai *courbe d'achromatisme*.

On l'obtient en construisant les points dont l'abscisse $x=n-1$ et l'ordonnée $y=n'-1$ ont respectivement pour valeurs les indices diminués de l'unité des deux verres, indices correspondant à la même couleur, ou mieux à la même raie.

Ainsi, les points A, b, G, H de la courbe ci-jointe (*fig.* 1) ont été formés en prenant pour abscisses les indices, moins l'unité, du crown-glass correspondant aux raies A, b, G, H, et pour ordonnées les indices moins l'unité du flint-glass correspondant aux mêmes raies. La substitution des valeurs numériques montre

qu'avec ces genres de verres la courbe tourne sa convexité vers l'axe des x (crown-glass), et que la direction moyenne de l'arc de courbe

Fig. 1.



passe au-dessous de l'origine et qu'elle fait un angle d'environ 60 degrés avec l'axe des x.

La condition d'achromatisme représentée par l'équation (5) est que, pour toutes les valeurs correspondantes de x et de y, la variation de φ soit aussi petite que possible. Substituant

$$x = n - 1, \quad y = n' - 1,$$

il vient

$$\frac{1}{\varphi'} = \left(1 - \frac{a}{f}\right)^{-1} \mathrm{P}x - \mathrm{Q}y,$$

expression de la forme

$$x \cos\alpha - y \sin\alpha,$$

ce qui conduit, par identification, à

$$(6) \qquad \frac{\cos\alpha}{\left(1 - \frac{a}{f}\right)^{-1} \mathrm{P}} = \frac{\sin\alpha}{\mathrm{Q}} \quad \text{ou} \quad \tan\alpha = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{P}} \left(1 - \frac{a}{f}\right).$$

On conclut de cette identification que l'inverse de la distance focale résultante φ' est proportionnelle à la projection du rayon vecteur de la *courbe d'achromatisme,* sur une droite faisant avec l'axe des x un angle égal à $-\alpha$. Géométriquement, la condition d'achromatisme devient celle-ci : déterminer la direction telle que la projection de l'arc de courbe, considérée dans toute l'étendue qui correspond aux indices des rayons utiles, soit minimum.

Il est évident que cette condition sera remplie, si l'on projette suivant la droite qui joint les deux extrémités de la courbe, ou même si l'on projette l'arc suivant la tangente au point correspondant à la raie b, qui, dans les rayons visibles, représente ce que symboliquement j'ai appelé le *centre de gravité* du spectre visible.

Pour l'achromatisme des rayons chimiques, la direction de la projetante est celle de la tangente en un point μ situé vers le milieu de l'intervalle GH. Comme la courbe est convexe, cette tangente fait un angle plus grand que le précédent avec l'axe des x : donc α doit diminuer.

L'équation (6) montre qu'en effet, pour diminuer α, il faut augmenter a. Donc l'écartement des verres transforme bien l'achromatisme des rayons visibles en achromatisme chimique. La règle expérimentale définie plus haut est donc démontrée.

Le raccourcissement correspondant du foyer est également évident; car la distance OP', inverse de φ', est plus grande que OP.

En résumé, étant donnée une lunette astronomique achromatique dont l'objectif est formé d'une lentille convergente de crown-glass et d'une lentille divergente de flint-glass, on la transformera en un objectif susceptible de donner des images photographiques d'une netteté aussi satisfaisante que possible, en écartant les deux lentilles d'une quantité dépendant de la nature de ces deux verres. Avec les verres usités en optique, un écartement de $1\frac{1}{2}$ pour 100 de la distance focale de l'objectif est suffisant, et le foyer chimique est très-voisin du foyer optique.

Quant aux aberrations produites par cet écartement des verres, je me suis assuré, par expérience, qu'ils sont entièrement négligeables. J'ai étudié à ce point de vue plusieurs lunettes de différents foyers, en particulier une excellente lunette de 100 millimètres d'ouverture et de $1^{m},40$ de distance focale. Avec un écartement de 15 millimètres des deux verres, j'ai réussi à photographier une échelle

divisée en millimètres, placée à 40 mètres de distance; les traits étaient parfaitement distincts; le rapport des pleins aux vides était bien reconnaissable et l'on pouvait au microscope mesurer avec un micromètre la trentième partie des intervalles. Un relevé micrométrique d'une épreuve très-soignée fait sur une plaque d'argent, d'après le procédé de Daguerre, m'a permis de constater que, sur toute l'étendue de l'échelle qui comprenait près de six cents traits et qui sous-tendait un angle de 45 minutes, il n'y avait aucune déformation systématique.

En résumé, la théorie et l'expérience montrent qu'un objectif bien achromatisé pour les rayons visibles peut être rendu achromatique au même degré pour les rayons chimiques, par un simple écartement des deux verres.

L'écartement le plus convenable doit être cherché par une série d'essais méthodiques : il ne dépasse pas en général $1\frac{1}{2}$ pour 100 de la distance focale principale primitive de l'objectif. On atteint aisément l'écartement qui correspond à une distance focale jouissant de la propriété précieuse de donner à la fois une image visible passable et une image photographique parfaite.

En terminant, je dirai que la méthode de transformation d'achromatisme est générale, et qu'elle peut s'appliquer à la solution de bien des questions de physique, d'astronomie et de micrographie.

SÉANCE DU 13 MARS 1874.

PRÉSIDENCE DE M. LISSAJOUS, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

La parole est donnée à M. Bourget, qui lit le rapport de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'année 1873. Après quelques observations, les comptes sont approuvés et des remercîments sont votés au trésorier et au secrétaire général.

M. Mascart expose quelques résultats relatifs à la double réfraction du verre trempé.

La méthode qu'il emploie consiste à plonger dans de l'acide phénique hydraté la lame de verre à étudier. L'acide étant contenu dans une cuve de verre à faces parallèles, le verre est presque invisible dans le liquide par transparence directe, car il a sensiblement la même réfrangibilité et la même dispersion que le liquide. La trempe s'observe en polarisant la lumière incidente et en armant l'œil d'un analyseur.

M. Mascart présente un petit aspirateur construit par M. Golaz. C'est une trompe à eau dont le jeu est analogue à celui de l'injecteur Giffard, et qui, sous une pression de 5 à 6 mètres d'eau, peut raréfier un gaz jusqu'à la pression de 2 centimètres de mercure. Ce genre d'aspirateur rend de grands services dans les laboratoires pour obtenir des écoulements de gaz réguliers, filtrer dans le vide, dessécher les appareils, etc. Il permet de montrer simplement dans un cours l'inégal frottement des gaz, dans leur passage à travers les tubes étroits; il suffit pour cela de prendre un tube de cuivre capillaire comme tube d'aspiration, et d'en plonger l'extrémité successivement dans l'hydrogène, l'air, l'acide carbonique et l'eau : on voit alors le niveau du mercure se maintenir à des hauteurs de plus en plus grandes dans un baromètre qui communique avec la trompe.

M. Lissajous expose une méthode acoustique due à M. Coulier, pour l'examen des cordes à boyaux destinées aux instruments de musique.

Il met ensuite sous les yeux de la Société divers appareils qui lui ont servi à l'étude optique des sons, et en particulier le phonoptomètre.

La séance est levée à 10 heures.

Sur la trempe des verres; par M. Mascart.

L'étude de la trempe et de l'homogénéité des verres présente un intérêt scientifique quand il s'agit de choisir une matière pour la construction d'un objectif, et surtout pour la construction des appareils interférentiels. D'un autre côté, il peut être utile dans

l'industrie d'avoir un procédé rapide pour constater le degré de trempe des verres, afin d'éviter les cas de rupture spontanée qui se présentent quelquefois, même dans les grandes glaces.

On peut sans doute tailler des faces à peu près parallèles dans différentes directions et examiner le verre avec un analyseur et un polariseur; mais cette méthode est longue et ne peut être appliquée que dans des cas très-particuliers. Lorsque mon attention a été appelée sur ce sujet, je me suis rappelé une belle expérience que j'avais vue dans le laboratoire de M. Coulier. Une baguette de verre tordue en tire-bouchon était plongée dans de l'acide phénique rendu liquide par une petite quantité d'eau. La baguette était presque invisible dans le liquide par transparence directe; on l'apercevait bien par un éclairage latéral, surtout à cause des fils et des défauts d'homogénéité du verre. Si un bloc de verre de forme quelconque et bien homogène était ainsi immergé dans un liquide ayant exactement la même réfrangibilité et la même dispersion, le verre disparaîtrait absolument. Ce phénomène a déjà été observé pour certains sels qui ont les mêmes propriétés optiques que les eaux mères dans lesquelles ils cristallisent. L'identité des propriétés optiques est à peu près réalisée pour le verre ordinaire et l'acide phénique; on voit seulement, sur les contours de l'objet immergé, une faible irisation qui tient aux spectres secondaires dus à la différence des dispersions.

Si l'on veut maintenant étudier le verre d'une coulée de glaces, on en découpe un morceau que l'on plonge dans une cuve de verre, à faces parallèles, collées à la gomme et renfermant de l'acide phénique hydraté. En examinant la glace par la tranche on distingue immédiatement tous les fils qu'elle renferme. Pour observer la trempe, il suffit de polariser la lumière incidente à 45 degrés de la lame et d'armer l'œil d'un analyseur.

Si, l'analyseur étant orienté de manière à éteindre la lumière incidente, on interpose la cuve, on voit deux bandes noires parallèles à la surface de la lame et à peu près à égale distance du centre et des bords. Il y a donc dans toute glace coulée et recuite par les procédés industriels deux couches dont la double réfraction et, par conséquent, la trempe sont nulles. Tout étant symétrique par rapport à la normale, la double réfraction des autres régions est évidemment comparable à celle d'un cristal à un axe dont l'axe de cristallisation

coïnciderait avec la normale à la lame. Si l'on place entre la cuve et l'analyseur une lame de spath d'Islande perpendiculaire à l'axe et qu'on incline cette lame autour d'une normale à la glace, on voit les deux bandes noires se rapprocher du milieu. Il résulte de là que la double réfraction du verre étudié est négative dans la zone comprise entre les couches neutres et positive dans les deux zones extérieures.

On peut évaluer le degré de trempe en déterminant l'épaisseur de quartz nécessaire pour annuler la double réfraction. Plaçons, par exemple, entre l'analyseur et la cuve un compensateur à teintes plates, et supposons que ce compensateur soit au zéro, c'est-à-dire ne produise pas de différence de marche, losrque la plaque mobile est au milieu de sa course. Dans ces conditions, les bandes noires ne sont pas déplacées; mais, si l'on fait glisser dans un sens ou dans l'autre la plaque mobile du compensateur, on voit les bandes noires marcher vers le milieu ou vers les bords de la glace. Si le compensateur est gradué, on obtient ainsi la différence de marche due à la trempe. L'expérience indique que les différences de marche produites par le milieu ou par les bords sont à peu près égales et de signes contraires, de sorte que la somme algébrique des doubles réfractions d'une pareille glace est sensiblement nulle. Une bonne glace de commerce, de 10 à 13 millimètres d'épaisseur, donne ainsi, pour une longueur de 20 centimètres, une différence de marche qui varie entre $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ longueur d'onde. Si la trempe dépasse cette valeur et surtout si elle est irrégulière, le verre est médiocre et risque de se briser dans le travail du polissage. Le verre est tout à fait mauvais quand la différence de marche atteint une longueur d'onde.

Pour donner une idée de l'état moléculaire des verres trempés, il est bon de comparer la double réfraction ainsi produite avec celle que l'on obtient par les actions mécaniques.

Brewster a reconnu depuis longtemps que le verre comprimé acquiert une double réfraction négative. Le milieu d'une glace est donc dans un état analogue à celui que produirait une compression normale ou une dilatation parallèle aux faces; les couches superficielles sont au contraire comparables à une lame de verre soumise à une traction normale à sa surface. D'autre part, Wertheim a montré que la différence de marche produite par la pression ou la traction est proportionnelle à l'effort exercé dans les limites où le

verre peut résister sans écrasement. Il résulte de là que, pour une lame taillée en parallélépipède rectangle et comprimée sur deux faces opposées, la différence de marche due à une pression déterminée est indépendante de la longueur de cette lame, c'est-à-dire du chemin parcouru par le rayon lumineux, et en raison inverse de sa largeur : c'est ce que Wertheim a vérifié par de nombreuses expériences. Il a trouvé ainsi qu'avec le verre à glaces il faut une pression de 165 kilogrammes pour produire une différence de marche d'une longueur d'onde, pour une largeur de 1 centimètre; si l'on suppose que cette lame ait 20 centimètres de longueur, comme celles dont j'ai parlé plus haut, cela correspondrait à une pression de $8^{kg},25$ par centimètre carré, c'est-à-dire d'environ 8 atmosphères. Comme les glaces du commerce donnent une différence de marche environ moitié moindre, il en résulte que la couche centrale et les couches superficielles d'une pareille glace sont dans un état analogue à celui que produiraient une compression centrale et une dilatation superficielle de 4 atmosphères.

Les larmes bataviques, qui sont un cas tout à fait excessif de trempe du verre, donnent des résultats bien plus remarquables. Une larme de 5 millimètres de diamètre environ, observée dans l'acide phénique, montre cinq ou six franges d'un grand éclat; c'est une expérience très-facile à répéter, et la projection de ces courbes colorées avec la lumière de la lampe de Drummond est l'un des plus beaux phénomènes de la polarisation chromatique. La structure d'une larme batavique est complexe; mais, si l'on suppose la goutte parfaitement cylindrique, il est clair que la distribution des pressions dans l'étendue d'une section normale sera déterminée par une série de cercles concentriques. La différence de marche éprouvée par les deux composantes d'un rayon polarisé que parcourt une corde de cette section sera la somme algébrique des effets produits par les différentes couches séparément, et, en examinant le phénomène depuis le bord jusqu'au centre, on peut calculer le détail des actions en chaque point; mais, sans faire aucun calcul, on peut dire qu'une larme batavique est dans un état comparable à celui d'une plaque de verre de même longueur qui donnerait la même différence de marche. Or la pression nécessaire pour produire une différence de marche de cinq longueurs d'onde serait de 825 kilogrammes, et si l'on suppose seulement une longueur de

5 millimètres, la pression par centimètre carré sera de 1650 kilogrammes. L'état moléculaire d'une larme batavique est donc analogue à celui que produirait sur une lame de verre une pression d'environ 1600 atmosphères.

Enfin, si l'on veut étudier des verres plus réfringents, tels que le cristal du commerce ou les flints d'optique, l'acide phénique ne convient plus; on aura recours alors à un mélange de sulfure de carbone avec de l'alcool ou de la benzine. Le liquide ainsi obtenu n'a pas en général la même dispersion que le verre; on aperçoit alors des colorations très-vives dues à des spectres secondaires, mais ces couleurs ne gênent guère pour l'observation que l'on a en vue.

Note sur l'examen des cordes des instruments à archet;

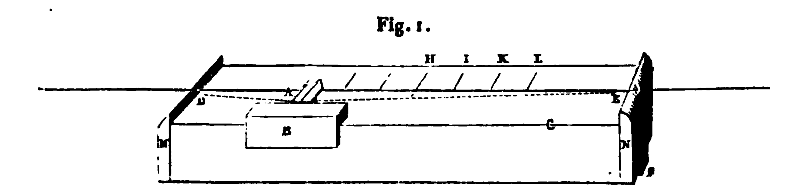
par M. Coulier,
Pharmacien principal de l'Armée.

On sait combien le choix des cordes pour ces instruments est chose délicate. Une corde de bonne apparence extérieure peut cependant donner de mauvais résultats, parce qu'elle n'est pas homogène. Des artistes, quand il s'agit par exemple de choisir une chanterelle de violon, l'essayent de la manière suivante : on saisit entre le pouce et l'index de chaque main une longueur égale à celle qui vibrera sur l'intrument; puis, tendant légèrement cette corde, on la fait vibrer en l'attaquant avec l'annulaire de l'une des mains. Pendant cette vibration, la corde prend l'apparence d'un fuseau dont la teinte est uniforme si la corde est bonne. Si, au contraire, elle est mauvaise, ce fuseau présente des stries longitudinales, qui correspondent aux points où le mouvement vibratoire est ralenti sous l'influence d'une cause quelconque. Cette méthode est certainement bonne et d'une extrême simplicité; la suivante me paraît donner des résultats plus sûrs.

On se procure un prisme rectangulaire en sapin, de 2 mètres environ de long, et dont la section est $0^m,055$ sur $0^m,075$. Au milieu de l'une des faces les plus larges, on pratique une rainure longitudinale de $0^m,014$. Aux deux extrémités se trouvent, d'un côté, un cordier attaché lui-même à une corde de $0^m,1$ environ, et, de l'autre,

un appareil quelconque pour tendre une corde de longueur variable et qui fait partie de l'instrument. La corde à essayer sera fixée convenablement à ces deux parties par ses extrémités.

Fig. 1.



Sur cette grande règle glisse un petit sonomètre en bois massif (*fig.* 1), dont les dimensions sont $0^m,325$, $0^m,07$ et $0^m,05$. La longueur qui vient d'être indiquée correspond à l'intervalle qui sépare les deux sillets M et N placés aux deux extrémités ([1]). Entre ces sillets, dont la hauteur est $0^m,01$, se meut un chevalet mobile A, terminé supérieurement en dos d'âne, et dont l'arête supérieure est plus élevée que les sillets de 1 millimètre. Ce chevalet, qui doit se mouvoir bien parallèlement à l'unisson, est guidé par un chapeau B, qui glisse sur l'arête C du sonomètre. Une corde à boyau DE, pointillée sur la figure, glisse dans une encoche du chevalet pendant qu'il se meut, et le maintient dans une position convenable. A la partie inférieure se trouve une languette de bois saillante F, qui s'introduit dans la rainure décrite plus haut. La pointe du chevalet parcourt une division formée par des traits, dont le premier H divise en deux le sonomètre. Les traits I, K et L sont distants de H de $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{8}$ et $\frac{1}{4}$ de la longueur qui sépare les sillets. Voici maintenant la manière d'opérer.

La corde à essayer est tendue modérément sur la grande pièce de bois, et passe sur le petit sonomètre; on glisse celui-ci à l'une des extrémités de cette corde, et l'on place le chevalet en H. Les deux moitiés de la portion de corde ainsi essayée doivent sonner à l'unisson ([2]). Si elle subit cette première épreuve d'une manière satisfaisante, on la marque d'un point noir à l'encre, au delà du sillet. En plaçant le chevalet en I, les deux sons produits doivent être à

([1]) C'est le diapason du violon dont nous supposons qu'il s'agit en ce moment.

([2]) Pour les faire vibrer, le mieux est d'employer un morceau de peau de gant roulée en cylindre, et introduit dans une plume. L'extrémité de ce cylindre doit être taillée en bec de flûte. C'est l'instrument que M. Delezenne appelait *plectrum*.

la quinte juste, et l'expérience doit être répétée de l'autre côté de la ligne médiane. Puis, en continuant de même en K et en L, on obtiendra des sons à l'octave, puis à l'octave de la quinte. Il ne reste plus qu'à marquer à l'encre les points où la corde jugée bonne devra être coupée, et le nombre de points marqués à l'une des extrémités indiquera le nombre d'épreuves subies avec succès, et, par conséquent, permettra de la classer.

Si les premières épreuves sont par trop mauvaises, on fait avancer le sonomètre de quelques centimètres, et l'on recommence. Il n'est pas rare de rencontrer des cordes qui, à la première épreuve, donnent plus d'un demi-ton de différence, et qui deviennent bonnes quelques centimètres plus loin. Les cordes filées peuvent très-bien subir des retouches locales au moyen du papier de verre. On pourrait, pour plus de rapidité, mettre deux crans aux points où le chevalot doit s'arrêter. MM. Chanot et Chardon, habiles luthiers, construisent des instruments de ce genre.

De la résistance de l'air sous l'aile de l'oiseau pendant le vol;

par M. E. Marey.

(Séance du 23 janvier.)

J'ai présenté à l'Académie des Sciences un travail destiné à démontrer que l'oiseau qui abaisse ses ailes, tandis qu'il est animé d'une translation horizontale, trouve sur l'air un appui plus solide que s'il effectuait l'abaissement de ses ailes avec la même vitesse, mais sans translation horizontale.

La théorie de ce phénomène me semblait être la suivante : une aile ou une surface quelconque qui refoule l'air rencontre, au début de son mouvement, une résistance considérable à cause de l'inertie de ce fluide, qui résiste au déplacement; mais peu à peu l'air est entraîné et sa vitesse tend à se rapprocher de celle du mobile qui le déplace : dès lors la résistance diminue. Enfin, quand le mobile s'arrête, l'air en mouvement tend à continuer son chemin, et il se produit à l'avant du mobile une véritable aspiration ou pression négative.

Or un oiseau qui se déplace horizontalement pendant l'abaisse-

ment de son aile agit, aux différents instants de cet abaissement, sur la série des colonnes d'air au-dessus desquelles il passe. Sur chaque colonne, il rencontre cette résistance maxima que l'inertie de l'air présente aux premiers instants de l'action de l'aile. Enfin, quand l'aile est arrivée au bas de sa course, elle ne subit pas l'entraînement que lui communiquerait la colonne d'air mise en mouvement, car la translation de l'oiseau l'amène sans cesse dans des régions où l'air est immobile. Toutes ces conditions sont évidemment favorables au vol, puisqu'elles accroissent la résistance de l'air qui fournit à l'oiseau son point d'appui.

Pour prouver l'exactitude de cette théorie, je fis certaines expériences dans lesquelles une même quantité de travail était appliquée à produire l'élévation et l'abaissement alternatif des ailes d'un oiseau artificiel. Tantôt ces mouvements des ailes se produisaient pendant que la machine restait à la même place : ils avaient alors une grande amplitude; tantôt on imprimait à la machine un mouvement de translation, et l'on voyait l'amplitude des coups d'aile diminuer considérablement, ce qui annonçait un accroissement de la résistance de l'air.

MM. Planavergne réclamèrent la priorité de l'idée théorique que j'avais émise et montrèrent qu'en effet ils avaient publié, quelques années auparavant, un Mémoire où cette théorie était explicitement indiquée. Toutefois ces auteurs n'avaient pas fourni de démonstration expérimentale à l'appui de leurs vues; en conséquence, il m'a semblé intéressant de continuer les recherches que j'avais commencées et de déterminer, aussi exactement que possible, d'une part, les phases des états variables de la résistance de l'air contre un mobile qui se déplace d'un mouvement uniforme; d'autre part, l'accroissement de la résistance de l'air sous l'aile d'un appareil qui se transporte avec des vitesses déterminées.

Première série d'expériences. — *Détermination des états variables et du régime régulier de la résistance de l'air contre un mobile qui se déplace d'un mouvement uniforme.*

Sur un bâti solide qui peut glisser facilement sur un plan horizontal, on dispose un écran léger dont leplan soit vertical et perpendiculaire au sens du glissement. Cet écran pivote autour d'un axe horizontal, et son manche est chargé d'un poids additionnel pour qu'il y ait équilibre parfait entre le manche et l'écran lui-

même. De cette façon, au moment où l'on imprime un mouvement de translation à l'appareil, on n'a pas à craindre que l'inertie de l'une ou de l'autre partie du système fasse pivoter l'écran autour de son axe, et si un pareil pivotement se produit, c'est bien à la résistance de l'air qu'il faut l'attribuer.

En arrière de l'écran est placé un petit appareil manométrique qui, au moyen d'un tube à air, communique avec un *tambour à levier* interrupteur (¹).

L'appareil étant ainsi disposé, on lui imprime un mouvement de translation uniforme qui dure une demi ou un quart de seconde, et l'on recueille le tracé suivant (²) (*fig.* 1).


Fig. 1.



En l'absence de toute translation, l'appareil trace une ligne horizontale *xx*, qui correspond à la pression zéro sur le dynamomètre. Au moment où la translation commence, l'appareil signale une pression énergique *a* qui est l'état variable initial tenant à l'inertie de l'air que le disque repousse. Bientôt la courbe s'abaisse annonçant que la résistance de l'air faiblit, bien que la translation du disque reste uniforme. C'est que l'air subit en partie le mouvement d'entraînement. La pression s'abaisse ainsi jusqu'au niveau *b*, qui est le *régime régulier* de la résistance de l'air pour toute la durée de la translation.

Enfin, quand l'appareil s'arrête brusquement, on voit baisser le tracé du manomètre inscripteur au point *c* : c'est l'*état variable terminal;* il consiste en un entraînement de l'écran par la colonne

(¹) Voir, pour la description de cet appareil, Marey, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, p. 148, in-8°, 1869, Germer-Baillière.

(²) Cette figure a dû être modifiée pour la débarrasser de vibrations accessoires produites par le style inscripteur et dont on a conservé seulement une à la fin de chacun des états variables *a* et *c*.

d'air animée de vitesse. Cet entraînement cesse graduellement et le tracé revient au *zéro*.

On ne saurait avec cet appareil grossier déterminer la valeur absolue de la résistance de l'air, aux différents instants de la translation uniforme, mais on peut se convaincre de l'existence de deux états variables, dont l'un précède et l'autre suit le régime régulier de la résistance de l'air. Les études des physiciens avaient eu jusqu'ici pour but de déterminer la valeur de ce régime régulier, seulement pour différentes vitesses.

Deuxième série d'expériences. — *Accroissement de la résistance de l'air aux mouvements d'abaissement de l'aile d'un oiseau, sous l'influence de la translation horizontale de celui-ci.*

Pour obtenir cette détermination, j'ai grossièrement imité la disposition de l'oiseau en réduisant chacune des ailes à un plan mince et rigide, ayant $0^m,50$ de long sur $0^m,10$ de large. Ces deux ailes solidaires l'une de l'autre s'abaissent, à un moment donné, sous l'influence de la détente d'un ressort.

Un travail constant est ainsi dépensé pour chaque coup d'aile. La translation de la machine se fait par glissement sur un fil de fer horizontalement tendu. Deux grandes roues, dont l'une est munie d'une manivelle, entraînent une corde sans fin, dont l'un des brins est parallèle au fil de fer. C'est ce brin de la corde qui imprime à l'appareil une vitesse horizontale plus ou moins grande.

Il s'agit maintenant de mesurer avec précision la vitesse de translation et la durée de l'abaissement des ailes. La méthode graphique donne facilement ces deux mesures.

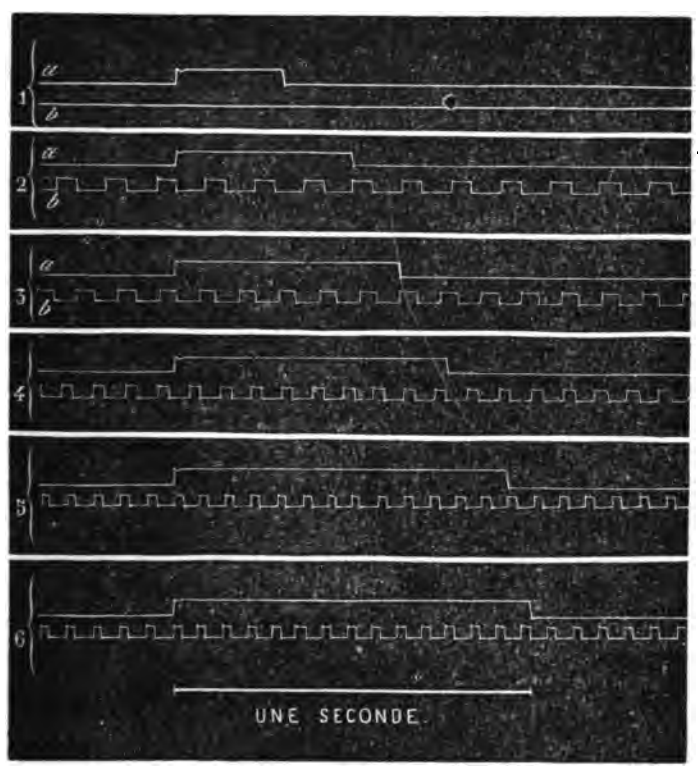
a. Mesure des vitesses de translation de la machine. — Cette vitesse n'est autre que celle de la corde sans fin, qui produit l'entraînement. Or cette corde passe sur une petite poulie dont les tours sont comptés et inscrits sur un cylindre tournant au moyen d'un style qui fonctionne à peu près comme le télégraphe Morse.

La partie qui sert au comptage des vitesses a exactement $0^m,40$ de circonférence; elle porte sur la moitié de son périmètre une armure métallique qui ferme un courant de pile lorsque deux frotteurs viennent la rencontrer, ce qui arrive pendant la moitié de chacun des tours de poulie. Le style inscripteur mis en mouvement par un électro-aimant trace une ligne crénelée qui, à chacun de ces changements de direction, indique que $0^m,20$ de corde ont

défilé, c'est-à-dire que l'oiseau artificiel a parcouru cet espace. Or plus la translation imprimée à l'oiseau est rapide, plus grand est le nombre de sinuosités inscrites pendant une seconde sur le cylindre dont la rotation est uniforme.

b. Mesure de la durée d'abaissement des ailes. — Un second inscripteur électrique, semblable à celui qui compte les tours de


Fig. 2.



poulie, sert à déterminer la durée de l'abaissement des ailes. Il faut qu'au début de cet abaissement un courant de pile soit rompu, ce qui est signalé par un changement dans la ligne tracée sur le cylindre, et qu'à la fin de l'abaissement des ailes le courant soit fermé de nouveau, ce que l'inscripteur signale encore.

On recueille simultanément le tracé des vitesses de translation et celui des durées d'abaissement des ailes, et l'on obtient une

série de déterminations dont la figure suivante (*fig.* 2) fournit quelques exemples.

Expérience n° 1. — La ligne supérieure *a* indique la durée de l'abaissement des ailes; en prenant cette longueur sur l'échelle du temps, on voit que l'abaissement de l'aile durait moins de $\frac{1}{3}$ de seconde. Dans cette expérience il n'y a pas eu de translation de l'oiseau : la ligne *b* ne présente aucune inflexion.

Expérience n° 2. — La durée d'abaissement des ailes (ligne *a*) est déjà plus grande; elle excède une demi-seconde. La translation était alors de près de 3 mètres par seconde. On s'en assure en prenant au compas sur la ligne *b* la longueur qui correspond à cinq changements de direction de la courbe, ce qui indique que cinq fois $0^m,20$, c'est-à-dire 1 mètre, ont été parcourues. On porte cette longueur sur l'échelle des temps, et l'on constate que dans une seconde elle est contenue environ 3 fois : on voit donc déjà que la durée d'abaissement de l'aile croît avec la vitesse.

Expériences n°s 3, 4, 5, 6. — Dans ces autres expériences, et procédant toujours de la même manière, on trouve que la durée de l'abaissement de l'aile s'accroît toujours quand la vitesse de translation augmente, et qu'avec une vitesse de $5^m,50$ l'abaissement de l'aile dure environ une seconde.

Il ne m'a pas été possible de trouver un rapport parfaitement précis entre la vitesse de translation et la durée de l'abaissement de l'aile. Des expériences faites dans des conditions identiques présentent parfois de légers écarts, qui tiennent à ce que la moindre oscillation du fil de fer qui sert de rail change légèrement la durée du phénomène. D'après ces premiers essais, il semble toutefois que la durée d'abaissement de l'aile croisse proportionnellement à la vitesse de translation, dans les limites de vitesse sur lesquelles j'ai pu opérer.

SÉANCE DU 27 MARS 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Maurat présente les appareils de M. Liais pour la mesure de

l'enregistrement électrique des observations astronomiques. Ces appareils, construits par M. Deschiens, sont destinés à l'Observatoire de Rio-Janeiro; ils se composent en réalité de trois instruments :

1° Un pendule régulateur destiné à établir des contacts électriques à chaque seconde;

2° Un compteur nécessaire pour la comparaison de la marche de ce pendule, soit avec le ciel, soit avec une horloge régulatrice.

3° Un chronographe sur lequel se fait l'enregistrement.

Cette communication donne lieu à quelques observations de M. Wolf.

M. Raynaud applique l'appareil télégraphique de M. Meyer, qui sert à transmettre plusieurs dépêches indépendantes par le même fil, et il fait fonctionner l'appareil sous les yeux de la Société.

Ce système d'appareil, basé sur la division du travail, a pour but d'utiliser tous les courants qui, dans un temps donné, peuvent se succéder dans un fil, en les répartissant entre plusieurs transmissions indépendantes les unes des autres.

Ainsi, plusieurs employés, faisant chacun de vingt à trente dépêches à l'heure, transmettent ensemble par le même fil des dépêches différentes, aussi pratiquement que par des fils séparés, c'est-à-dire que chacun peut, à volonté, ou recevoir, ou transmettre, ou être au repos; il peut de même, à tout instant, interrompre la transmission de son correspondant et faire les rectifications nécessaires, sans qu'il en résulte le moindre trouble dans les transmissions voisines.

La séance est levée à 9 heures trois quarts.

Appareil télégraphique à transmissions multiples par le même fil; par M. Meyer.

Ce système d'appareil, basé sur la division du travail, a pour but d'utiliser tous les courants qui, dans un temps donné, peuvent se succéder dans un fil, en les répartissant entre plusieurs transmissions indépendantes les unes des autres.

Ainsi, plusieurs employés, faisant chacun de 20 à 30 dépêches à l'heure, transmettent ensemble par le même fil des dépêches différentes, aussi pratiquement que par des fils séparés, c'est-à-dire que chacun peut, à volonté, ou recevoir, ou transmettre, ou être au repos ; il peut de même à tout instant interrompre la transmission de son correspondant et faire les rectifications nécessaires, sans qu'il en résulte le moindre trouble dans les transmissions voisines.

On parvient ainsi, sans déroger aux habitudes de transmission actuellement en usage, et le nombre des employés restant le même, à diminuer considérablement le nombre des fils nécessaires à la même production de travail. Il est presque inutile d'ajouter que c'est le conducteur ou fil de ligne qui, de tous les organes de télégraphie, présente le plus d'inconvénients dans la pratique. Par conséquent, tout système qui en diminue le nombre, ou qui en augmente les produits est, au point de vue des besoins du service, un système de progrès.

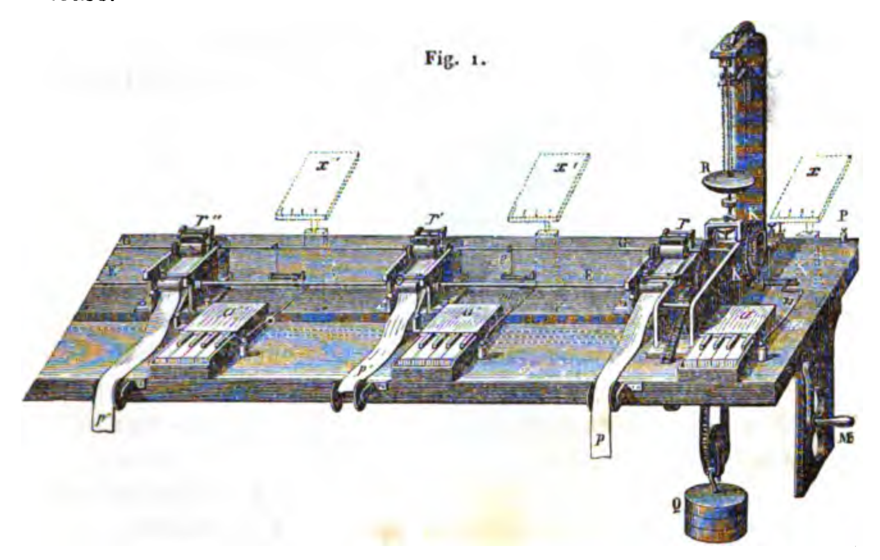
Le nombre de transmissions différentes que comporte une ligne télégraphique varie naturellement avec sa conductibilité.

On peut admettre qu'un travail de 25 dépêches à l'heure, qui, au Morse, est le travail de l'employé, exige du fil une dépense d'environ 5 émissions de courant à la seconde. Par conséquent, n étant la somme des courants qui à la seconde peuvent se succéder dans un conducteur, et 5 émissions de courant étant la dépense pour 25 dépêches à l'heure, $\frac{n}{5}$ représente le nombre de récepteurs qu'il est possible d'établir sur le même fil, ou le nombre d'employés pouvant y travailler en même temps.

L'appareil multiple que nous décrivons est à quatre transmissions et desservi par 4 employés. Il déroule avec une vitesse de 75 tours par minute, à raison de 4 lettres par tour. Il produit 100 dépêches à l'heure et exige du fil 20 émissions à la seconde ; ce rendement est loin d'être un maximum. On sait par diverses expériences que les conducteurs télégraphiques en général permettent plus de 20 émissions à la seconde. Dans les essais autographiques, on a obtenu en ligne, soit chimiquement, soit à l'encre, des empreintes très-nettes avec des longueurs de courant de $\frac{1}{100}$ de seconde.

Le plan *fig.* 1 représente un appareil à quatre transmissions (*). Le système reste le même, quel que soit le nombre de récepteurs.

Fig. 1.



Sur une même table sont placés quatre petits claviers $a\,a'a''a'''$; et autant de récepteurs $r\,r'r''r'''$, ayant chacun sa bande de papier $p\,p'p''p'''$. L'organe imprimeur est un quart d'hélice, sur lequel tourne un tampon encreur. Un seul mouvement d'horlogerie, mû par un poids et régularisé par le pendule conique à suspension fixe, sert de moteur à tous les récepteurs à l'aide des deux axes GG′ et EE′ : le premier opère la rotation des hélices ; le second effectue le tirage du papier.

Les claviers, ainsi que les récepteurs, sont reliés métalliquement, d'un côté au fil de terre, et de l'autre au fil de ligne, par l'intermédiaire du distributeur K.

Une seule pile suffit à toutes les transmissions.

L'ensemble de l'appareil connu, nous allons en décrire les différentes parties.

Distributeur. — Le distributeur K est la pièce caractéristique du télégraphe multiple. C'est lui qui, en quatre intervalles de temps

(*) La figure ne représente que trois transmissions en raison du format du *Bulletin*.

Synchronisme. — La transmission multiple exige, dans les deux appareils placés à distance, un déroulement identique dans le même temps. A cet effet, un pendule conique à suspension fixe, une boule pesante enfilée sur une tige élastique, régularise le mouvement d'horlogerie. Cette régularité serait insuffisante, quoique d'un tour à l'autre il y ait à peine $\frac{1}{1000}$ de seconde d'écart. On utilise donc un système de correction pour compenser ces variations. Il a pour fonction de baisser ou de hausser, par l'action du courant de la pile, la boule du pendule.

L'un des appareils déroule librement ; c'est l'appareil type. Il envoie à chaque tour d'hélice une émission de courant destinée à la correction. Par l'effet de ce courant, l'appareil récepteur subit une avance ou un retard.

Voici comment est disposé le système correcteur. La boule du pendule qui glisse à frottement doux sur la tige est suspendue à un double ressort à boudin d'une force élastique déterminée ; c'est afin de rendre le plus léger possible le déplacement de la boule dans le sens vertical. Un cordon attaché par l'une de ses extrémités à la boule s'enroule par l'autre bout autour d'un treuil. Suivant que ce treuil tourne dans un sens ou dans un autre, le cordon s'enroule ou se déroule, et la boule du pendule monte ou descend. Il résulte dans la vitesse du second appareil une accélération ou un ralentissement.

L'arbre qui porte le treuil porte en outre un disque à l'autre extrémité. Le tout obéit à l'action d'un électro-aimant. Deux cames, fixées sur deux roues tournant en sens inverse, viennent à chaque tour agir sur le disque : l'une produit une poussée de bas en haut, elle fait monter la boule ; et l'autre de haut en bas, la boule descend.

C'est à l'aide de ce double effet que le synchronisme des deux appareils se maintient indéfiniment.

Pour établir, au commencement de la transmission, la concordance entre deux appareils, les deux pendules étant préalablement ramenés au même diapason, l'appareil type qu'on fait dérouler au hasard envoie au correspondant une émission correctrice à chaque tour, ce qui se traduit à la réception par un trait sur l'une des bandes. On amène ce trait, par une légère accélération, dans la

sphère d'action du système correcteur. On rétablit l'équilibre ; les deux appareils sont ensemble et la correction les y maintient.

On conçoit que, deux appareils déroulant synchroniquement, les deux frotteurs décrivent sur leur distributeur respectif des cercles égaux et identiques ; et tout courant circulant dans le fil pendant le passage sur le premier quart de cercle fait fonctionner le premier récepteur. Il en est de même des autres. Chaque employé a donc le fil de ligne à son usage exclusif, aussi bien pour la réception que pour la transmission, pendant un quart de tour. C'est pendant cet intervalle de temps qu'il reçoit ou transmet sa lettre, une lettre par tour. Il est isolé le reste du temps et ne peut en rien troubler les transmissions voisines.

Après chaque émission de courant, la ligne est à la terre par ses deux extrémités.

On peut à volonté diriger toutes les transmissions dans le même sens ou en sens croisés, et en utiliser indistinctement une ou plusieurs.

Le télégraphe multiple que nous venons de décrire a fait en France, à titre d'essai, le service des dépêches du public entre Paris et Lyon, tous les jours, de 11 heures du matin à 6 heures du soir, et a donné les résultats suivants, résultats constatés par le rapport officiel de la Commission.

Le maximum par employé a été de 28 dépêches à l'heure ;

Le produit maximum du fil, de 110 dépêches à l'heure.

La moyenne par employé, après avoir été le premier jour de 19 dépêches à l'heure, s'est élevée à 22 et 23 dépêches. On sait que la moyenne du Morse est de 18 dépêches par employé, et celle du Hughes de 22.

La moyenne par fil était donc 92 dépêches à l'heure, celle du Hughes étant de 45 à l'heure [1].

Le travail total de la séance de 7 heures a été de 150 dépêches par employé ; donc 600 dépêches comme produit du fil.

Le rendement d'un appareil multiple à quatre transmissions, comme on voit, est le double du Hughes et le quadruple du Morse. Il donnera trois fois le produit du Hughes s'il est à six récepteurs, etc.

---

[1] En supposant le Hughes desservi par deux employés à chaque appareil.

Le prix de revient du système multiple peut être évalué à autant de fois le prix du Morse qu'il y a de transmissions.

Un appareil à quatre transmissions a figuré cette année à l'exposition universelle de Vienne.

Sur la production artificielle des matières organiques douées du pouvoir rotatoire. Préparation des acides tartriques droit et gauche, en partant du gaz oléfiant; par M. E. Jungfleisch, Conservateur des Collections scientifiques à l'École Polytechnique.

I. Les recherches synthétiques ont donné depuis vingt ans aux chimistes des résultats tellement merveilleux que la production artificielle des principaux matériaux dont se composent les êtres vivants semble devoir être réalisée dans un temps relativement court. Il est cependant une propriété physique, le pouvoir rotatoire, qui, commune à un grand nombre de composés naturels, ne se retrouve jusqu'ici dans aucune des substances organiques obtenues par la synthèse chimique. D'après certaines idées émises en premier lieu par Biot et partagées par beaucoup de savants, on considère, en effet, les substances douées du pouvoir rotatoire comme produites seulement dans les organismes vivants et par des actions que la science serait impuissante à provoquer : tel est le problème que je crois avoir résolu. En effet, j'ai pris le gaz oléfiant, composé facile à obtenir par synthèse, et je l'ai transformé en acides tartriques optiquement inactifs; puis j'ai dédoublé le produit ainsi obtenu en deux acides symétriques entre eux, nettement caractérisés par les phénomènes optiques et cristallographiques, doués l'un du pouvoir rotatoire à droite, l'autre du pouvoir rotatoire à gauche : l'acide droit est identique avec l'acide naturel.

II. Rappelons d'abord l'état de la question.

Les belles recherches de M. Pasteur ont établi qu'il existe quatre variétés d'acide tartrique, savoir :

1° L'acide tartrique naturel, hémièdre et doué du pouvoir rotatoire à droite;

2° L'acide tartrique gauche, hémièdre et doué du pouvoir rotatoire à gauche;

3° L'acide racémique, combinaison optiquement neutre des deux acides actifs qu'il peut reproduire par son dédoublement ;

4° L'acide tartrique inactif, privé d'hémiédrie et de pouvoir rotatoire comme le précédent, mais non dédoublable.

Dans une première série de recherches, j'ai démontré que, sous l'influence de la chaleur, les acides tartriques optiquement actifs peuvent être transformés en acides racémique et tartrique inactif, corps dépourvus d'action sur la lumière polarisée. De plus, sous la même influence, ces deux derniers composés peuvent se transformer réciproquement l'un dans l'autre, et donner lieu, dès lors, à un équilibre limitant le phénomène. Il découlerait de là, si l'on admet que l'acide tartrique inactif est bien réellement inactif, que, contrairement aux idées de Biot, un corps optiquement inactif peut engendrer, en dehors de l'intervention des phénomènes de la vie, un corps optiquement neutre, c'est-à-dire formé de composés actifs séparables l'un de l'autre.

III. Ces résultats m'ont engagé à pousser plus loin, en m'attachant d'abord à l'acide tartrique formé artificiellement. En effet, en 1860, MM. Perkin et Duppa ont établi ([1]) que l'acide succinique peut être transformé en acide tartrique : l'acide qu'ils avaient obtenu a été étudié par M. Pasteur et reconnu par lui comme un mélange des acides racémique et tartrique inactif ([2]). Mais les recherches des éminents chimistes anglais, quelque remarquables qu'elles soient au point de vue chimique, ne résolvent cependant pas la question de la production artificielle du pouvoir rotatoire ; elles ont été faites avec l'acide succinique ordinaire, qui provient, on le sait, de matières naturelles diverses ; on peut donc se demander, comme l'a fait avec raison M. Pasteur ([3]), si cet acide succinique « est réellement inactif par nature », s'il ne serait pas plutôt « inactif par compensation », ou bien même « si cet acide succinique ne serait pas un corps actif dont l'action sur la lumière polarisée serait très-faible et difficile à mettre en évidence ».

Or, peu de temps après la publication des expériences de

([1]) *Quarterly journal of the Chemical Society*, t. XIII, p. 102 (juillet 1860). — *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LX, p. 234.

([2]) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXI, p. 484 ; 1861.

([3]) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXI, p. 484 ; 1861.

MM. Perkin et Duppa, M. Maxwel Simpson a eu l'heureuse idée d'étendre aux composés polyatomiques les faits relatifs aux nitriles découverts par MM. Dumas, Malagutti et Le Blanc, et il a formé ainsi, entre autres synthèses remarquables, de l'acide succinique au moyen du gaz oléfiant ou éthylène, par l'intermédiaire du cyanure d'éthylène. L'éthylène, d'ailleurs, peut être obtenu facilement en partant de l'acétylène, formé lui-même par l'union directe des éléments carbone et hydrogène, comme l'a montré M. Berthelot. Si donc on peut, en partant du gaz oléfiant, préparer de l'acide succinique et répéter ensuite avec lui les expériences de MM. Perkin et Duppa ; si de plus l'acide tartrique obtenu est résoluble en deux acides optiquement actifs, la question sera complétement élucidée.

IV. J'ai donc préparé de l'acide succinique en partant de l'éthylène.

Le travail que j'entreprenais exigeant un grand nombre de réactions qui donnent chacune un faible rendement, j'ai dû opérer sur des quantités de matière considérables : je n'ai pas mis en œuvre moins de 3800 grammes de bibromure d'éthylène parfaitement pur. Ce produit a été transformé en dicyanure d'éthylène, en suivant exactement les indications de M. Simpson. J'ai ensuite changé le cyanure en acide succinique ; cette opération étant pénible et d'un rendement médiocre dans les conditions signalées par le savant anglais, je l'ai modifiée, et, en suivant une méthode qu'il serait trop long de décrire ici, j'ai obtenu plus de 300 grammes d'acide succinique synthétique pur et cristallisé.

J'ai changé ce corps en acide succinique bibromé, puis en acide tartrique, en modifiant les procédés signalés par MM. Perkin, Duppa et Kekulé.

L'acide tartrique ainsi préparé est identique avec celui que m'ont donné tous les essais préliminaires faits avec l'acide succinique du commerce : c'est un mélange d'acides racémique et tartrique inactif.

J'ai transformé, par l'action de la chaleur, en acide racémique tout l'acide tartrique inactif obtenu.

V. Après avoir mis à part quelques cristaux de l'acide racémique préparé synthétiquement, j'ai transformé le reste en tartrate double de soude et d'ammoniaque, conformément à la méthode de M. Pas-

teur. La liqueur m'a donné deux sortes de cristaux : les uns, très-nettement hémièdres à gauche et identiques au tartrate gauche, forment une solution douée du pouvoir rotatoire à gauche, comme je m'en suis assuré; les autres cristaux, hémièdres à droite et identiques au tartrate droit, forment une solution douée du pouvoir rotatoire à droite. Les valeurs trouvées pour ces pouvoirs rotatoires sont identiques à celles que fournissent dans les mêmes conditions les produits d'une autre origine. Dans tous les cas, les expériences ci-dessus démontrent l'existence du pouvoir rotatoire dans les acides synthétiques.

En résumé, l'acide racémique et l'acide tartrique inactif provenant du gaz oléfiant sont identiques aux mêmes corps d'origine naturelle, et tous deux peuvent engendrer, directement ou indirectement, les acides tartriques droit et gauche, symétriques entre eux et doués du pouvoir rotatoire.

Ces expériences me paraissent démontrer, en dehors de toute hypothèse sur l'activité optique plus ou moins dissimulée de l'acide tartrique inactif, que le pouvoir rotatoire peut être créé sans l'intervention de la vie et au moyen des composés formés par la synthèse totale des éléments.

VI. J'ajouterai que tous ces faits ne sont pas propres à l'acide tartrique. Des recherches déjà étendues, et portant sur un assez grand nombre de substances optiquement actives, m'ont démontré que leurs diverses variétés optiques peuvent donner lieu à des transformations analogues à celles qui viennent d'être indiquées rapidement pour l'acide tartrique. Je ne citerai qu'un seul exemple.

L'acide camphorique fourni par le camphre ordinaire est doué du pouvoir rotatoire à droite. D'après les belles expériences de M. Chautard, l'acide camphorique obtenu avec le camphre de la matricaire est gauche. De plus, ces deux acides peuvent se combiner et donner naissance à un acide racémo-camphorique inactif par compensation. En partant de l'acide camphorique droit, j'ai pu obtenir l'acide camphorique inactif et l'acide racémo-camphorique; j'ai réussi à dédoubler ce dernier en acide droit et en acide gauche; de plus, l'acide inactif et l'acide racémique peuvent être transformés réciproquement et régulièrement l'un dans l'autre.

Dans le cas actuel comme dans le cas précédent, la transforma-

tion d'un corps inactif par nature en un corps inactif par compensation, et par suite en corps actifs, se trouve réalisée.

L'action de la chaleur permet donc d'une manière générale de produire, de modifier et de détruire, dans certaines substances, le pouvoir rotatoire.

SÉANCE DU 10 AVRIL 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Un grand nombre de membres non résidants assistent à la séance.

M. Laurent montre son appareil, qui sert à l'étude de la réfraction conique, et un nouveau saccharimètre.

M. Raynaud prend la parole au nom de M. Bontemps et décrit une méthode employée pour déterminer le point d'arrêt des curseurs dans les tubes pneumatiques.

M. Boudréaux répète quelques expériences d'Edelmann sur la projection des spectres de métaux.

M. Gernez répète quelques expériences de surfusion.

M. Mascart reproduit des expériences sur la trempe du verre.

La séance est levée à 10 heures.

Lumière monochromatique rendue intense; par M. Laurent.

J'ai l'honneur de présenter à la Société un bec Bunsen, pour la lumière du sodium, et disposé de telle façon qu'il permet d'obtenir dans l'intérieur de la flamme jaune ordinaire une partie restreinte assez fixe et excessivement brillante, dont l'utilité sera appréciée, je l'espère, dans l'application aux saccharimètres en général qui, on le sait, laissent quelquefois à désirer par le manque d'intensité de la lumière.

Pour cela, les orifices pour le gaz et l'air sont combinés de manière à donner le maximum d'air, et par suite de chaleur, ainsi que cela a déjà été fait, mais dans d'autres applications; le tube par

lequel arrivent les gaz est suffisamment long pour que le mélange soit complet, de sorte que, au lieu de la flamme agitée et pétillante que l'on obtient généralement, j'ai en haut du tube un petit cône verdâtre très-tranquille, dans l'intérieur d'une flamme violette peu éclairante, mais très-chaude.

Le point principal consiste maintenant à introduire dans la flamme et sur le côté une cuiller en toile de platine, en forme d'écope, la partie relevée et inclinée se trouvant près du sommet du cône. Le sel est placé dans le godet de la cuiller où il fond, et il se produit, dans le prolongement de la partie inclinée et relevée, une sorte d'aspiration qui produit une flamme étroite, mais très-brillante, et que l'appareil n'utilise même pas tout entière.

A l'occasion de la Communication de M. Marey sur le chronographe, M. Melsens a adressé à la Société la Note suivante :

Note historique sur l'inscription des vibrations;
par M. Melsens.

Thomas Young (1807), après avoir décrit un appareil analogue à celui de M. Duhamel (1840), composé d'un cylindre vertical auquel on peut imprimer simultanément un mouvement de rotation et un mouvement vertical, ajoute : « Cet instrument peut servir à mesurer sans difficulté le nombre (*frequency*) des vibrations des corps sonores, en leur appliquant un style qui décrira une trace ondulée sur le cylindre. Ces vibrations peuvent servir aussi, d'une manière bien simple, à mesurer de minimes intervalles de temps; car si l'on fait vibrer un corps dont les vibrations ont une certaine fréquence pendant que le cylindre tourne, et qu'on fasse marquer ses vibrations sur le cylindre, ces traces constitueront un index correct du temps occupé par une partie de la révolution, et le mouvement d'un corps quelconque peut être comparé avec le nombre des alternations marquées pendant le même temps par le corps vibrant (*). »

(*) *A course of lectures on natural Philosophy and the mechanical Arts.* — London, 1807, t. I, p. 190.

Voici le texte anglais :

« By means of this instrument we may measure without difficulty the frequency of the vibrations of sounding bodies, by connecting them with a point, which will describe an ondulated path on the roller. These vibrations may also serve in very simple manner for the measurement of the minutes intervals of time; for a body of which the vibrations are of a certain degree of frequency, be caused to vibrate during the revolution of the axis and to mark its vibrations on the roller, the traces will serve as a correct index of the time occupied by any part of the revolution and the motion of any body may be very accurately, compared with the number of alternations marked, in the same time, by the vibrating body. »

SÉANCE DU 24 AVRIL 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Mascart expose ses recherches sur la réfraction des gaz, et met sous les yeux de la Société divers appareils qui lui ont servi à cette occasion.

La partie optique de l'observation est fondée sur l'emploi des franges de Talbot. M. Mascart en donne une théorie élémentaire, dans le cas usité dans ses expériences.

M. Lippmann expose les résultats de ses expériences sur la variation des forces capillaires par le passage d'un courant dans le liquide employé.

Il place sous les yeux de la Société divers appareils qui mettent en lumière les phénomènes qu'il a observés, en particulier un véritable électromètre et un petit moteur fondés sur la variation de la force capillaire.

La séance est levée à 10 heures.

Recherches physico-chimiques sur les gaz et les liquides condensés par le charbon poreux; par M. MELSENS.

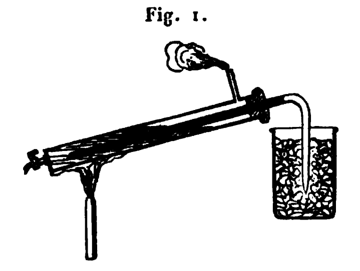
(Séance du 9 janvier 1874.)

Par diverses Notes lues à l'Académie royale de Belgique ([1]), j'ai fait connaître les résultats de recherches physico-chimiques ayant pour objet principal l'étude de la condensation des liquides et des gaz par le charbon. Parmi ces recherches, voici celles qui me semblent devoir intéresser les physiciens.

1. *Liquéfaction des gaz absorbés par le charbon.* — On introduit du charbon récemment calciné, aussi rapidement que possible, dans la longue branche d'un tube de Faraday, au fond de laquelle on place un petit bouchon d'asbeste. Ce tube, qu'on laisse provisoirement ouvert aux deux bouts effilés prêts à être fermés au chalumeau, est entouré d'un linge humide sur lequel on place de la glace pilée, puis mis en communication avec les appareils donnant le gaz pur et sec sur lequel on veut expérimenter; on fait passer lentement un excès de gaz et l'on ferme les deux extrémités à la lampe; on connaît le poids du charbon, le poids du gaz absorbé, et, au besoin, on peut connaître le volume total de l'appareil.

Le tube, ainsi préparé (*fig.* 1), est placé dans un long tube de

Fig. 1.



fer-blanc rempli d'eau et terminé par une ouverture qui laisse échapper la vapeur; la partie supérieure de ce tube est munie d'un bouchon que l'on garnit d'un mastic ou d'un lut convenable pour empêcher la vapeur de chauffer la courte branche plongée dans un mélange réfrigérant.

([1]) Mémoires couronnés et autres Mémoires publiés par l'Académie royale de Belgique, t. XXIII, 1873.

L'acide sulfureux ([1]), le chlore, l'éther chlorhydrique, le cyanogène, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque, l'acide iodhydrique ont été liquéfiés par cette méthode.

J'ajoute que mes tubes ont été déjà chauffés à différentes reprises, et que pour les démonstrations dans les leçons ils sont parfaitement suffisants; en effet, par le refroidissement, on voit le gaz condensé, et transformé en liquide dans la courte branche, s'évaporer, bouillir et retourner au charbon pendant que du givre se dépose sur toute la partie du tube préalablement remplie de liquide.

Remarque. — Il est convenable, pour quelques gaz difficilement condensables, de rendre la petite branche plus étroite que la grande.

2. *Réaction des gaz condensés.* — L'hydrogène est brûlé à froid, à l'abri complet de la lumière, quand il passe sur du charbon saturé de chlore. Une partie de l'acide chlorhydrique formé se dégage, et la *combustion* est accompagnée d'un *abaissement de température.* L'eau est décomposée à froid et à l'abri de la lumière au contact du *charbon chloré;* il se forme de l'acide chlorhydrique et le charbon est brûlé à l'état d'acide carbonique; une partie du chlore se dégage, mais on constate une légère élévation de température.

L'acide chlorosulfurique, qui ne s'obtient que très-difficilement par l'action de la lumière solaire sur un mélange de chlore et d'anhydride sulfureux, s'obtient sans peine et en quantité considérable en faisant arriver les deux gaz simultanément dans de l'acide acétique cristallisable, ou en les faisant passer sur de la braise pure, qui les condense d'abord et provoque leur combinaison. Ces expériences peuvent se faire dans l'*obscurité complète.*

La lumière, ou les forces qu'elle représente, peut donc être remplacée par une *action de contact* ou un phénomène d'*affinité capillaire.*

3. *Des liquides au contact du charbon poreux.* — Les expé-

([1]) En utilisant l'action de l'acide sulfurique sur le soufre dans des vases de fonte, on obtient avec facilité et en grande quantité l'anhydride sulfureux liquéfié. Je ne suis pas parvenu à déterminer le point d'ébullition exact de l'anhydride sulfureux; mes nombreux essais confirment les expériences de M. V. Regnault.

La tension de vapeur de ce corps déterminée à 100° C. a donné sensiblement F = 20093 ou 26,44 atmosphères, d'après la formule de M. V. Regnault.

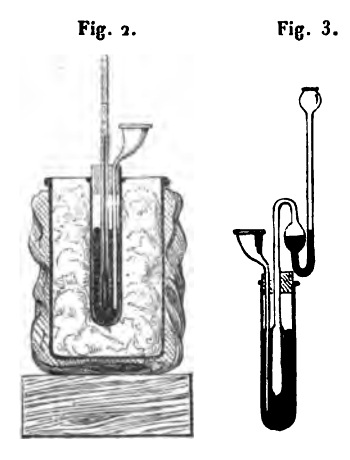
riences de MM. Favre et Silbermann prouvent que la chaleur latente de vaporisation est inférieure à la chaleur dégagée par la condensation de certains gaz dans les pores du charbon. D'autre part, Pouillet, en 1822, a reconnu le dégagement de chaleur produit chaque fois qu'un solide est mouillé par un liquide. J'ai étudié ce sujet et fait quelques expériences sur la chaleur produite par l'imbibition du charbon; je vais les faire connaître.

L'élévation de température obtenue au moyen du charbon et des liquides donne des nombres plus élevés que ceux trouvés par Pouillet pour beaucoup de solides et de liquides sur lesquels il a opéré.

Je n'ai pas eu à ma disposition un calorimètre, et mes expériences ont été faites dans un appareil que tout chimiste ou physicien peut monter et faire voir dans les cours.

Un grand vase à précipité en verre mince (*fig.* 2) est entouré

Fig. 2. Fig. 3.



d'un essuie-main; on le remplit d'ouate cardée; au centre, on place un tube d'essai en verre très-mince, d'une hauteur de 15 centimètres sur 2 de diamètre; un thermomètre donnant le dixième de degré C. plonge au centre, maintenu par un bouchon garni de platine, et portant une rainure par laquelle passe l'extrémité d'un entonnoir destiné à laisser écouler le liquide au centre du charbon.

Dans un cours, le thermomètre est remplacé avec avantage par un thermoscope (*fig.* 3).

En opérant sur 10 grammes de charbon et environ 25 centimètres cubes de liquide, on a obtenu une élévation de température de plusieurs degrés avec l'éther, l'alcool et le sulfure de carbone; avec 11 grammes de charbon et 97 grammes de brome, l'élévation de température a été de 30 degrés C.

Je regrette de n'avoir pas été à même de faire des expériences exactes, et j'appelle l'attention sur la mesure de la force avec laquelle un liquide peut être attiré par une paroi solide.

Me basant sur les données de MM. V. Regnault, Thomson et Joule, et sur les résultats donnés par Pouillet, que je regarde comme plus exacts que les miens, je pense pouvoir admettre que, pour l'eau, cette force d'attraction se mesure par

$$(1{,}16 : \tfrac{1}{77}) \times 10 = 893 \text{ atmosphères},$$

une compression brusque de 10 atmosphères n'élevant la température de l'eau que de $\frac{1}{77}$ de degré C., et l'imbibition du charbon par l'eau produisant une élévation de température égale à $1^{\circ},16$ C.

En adoptant ces données pour les autres liquides, on arrive à

$(30 : \frac{1}{77}) \times 10 = 23100$	atmosphères pour	le brome;
$(17 : \frac{1}{77}) \times 10 = 13090$	»	le sulfure de carbone;
$(6 : \frac{1}{77}) \times 10 = 4620$	»	l'éther;
$(4 : \frac{1}{77}) \times 10 = 3080$	»	l'alcool,

les nombres 30, 17, 6 et 4 étant environ l'élévation de température dans les circonstances de mes expériences.

Quoi qu'il en soit de ces données, elles prouvent que la tension des liquides volatils au contact du charbon doit être beaucoup affaiblie, et, en effet, en tenant compte du poids du charbon et du liquide volatil qui l'imprègne, on voit qu'une grande quantité de ce dernier reste fixée sur le charbon, bien que celui-ci soit porté à une température de beaucoup supérieure au point d'ébullition du liquide; en opérant dans un tube de Faraday, dont on refroidit la courte branche par un mélange de glace et de sel marin, un charbon imprégné de son poids de brome le retient complétement, bien qu'étant chauffé dans un courant de vapeur d'eau.

Expériences électrocapillaires; par M. Lippmann.

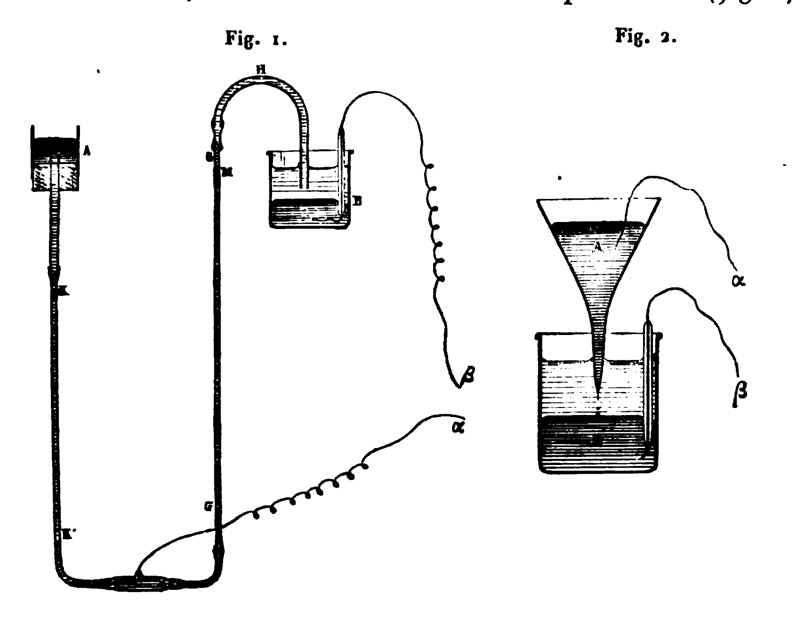
(Séance du 24 avril 1874.)

On peut montrer, par quelques expériences simples, une relation qui existe entre les phénomènes capillaires et électriques.

1° La constante capillaire à la surface de séparation de deux liquides est fonction de la force électromotrice de polarisation sur cette surface; 2° cette force électromotrice est fonction de la variation de l'aire de cette surface. (*Comptes rendus,* 9 juin 1873.)

Première expérience.— Un tube de verre capillaire GG′ (*fig.* 1)

Fig. 1. Fig. 2.



est mis en communication par un tube de caoutchouc avec un vase plus large A contenant du mercure. La colonne de mercure se termine en M par un ménisque convexe; le niveau en M est moins élevé qu'en A (dépression capillaire). La partie supérieure du tube GG′ contient de l'acide sulfurique étendu, qui se continue à travers le tube H, jusque dans le verre B; au fond de ce verre se trouve une couche de mercure. Deux fils de platine α, β, isolés l'un de l'autre, sont en contact avec les deux masses de mercure en A et B, et permettent de les mettre en communication avec l'extérieur.

Faisons communiquer α avec le pôle zinc, β avec le pôle cuivre d'un élément Daniell. Au moment où le circuit est fermé, le ménisque hémisphérique M s'abaisse brusquement et prend une nouvelle position d'équilibre.

La dépression capillaire (corrigée de la pression de l'acide) a augmenté de 0,35 de sa valeur. L'appareil constitue un voltamètre à électrodes de mercure, le courant commençant à développer sur ces électrodes une force électromotrice de polarisation, qui fait équilibre à la force électromotrice de l'élément Daniell, et qui fait cesser le courant avant qu'aucune action chimique visible se soit produite.

En d'autres termes, la force électromotrice de contact entre le mercure et l'eau acidulée en M ayant augmenté de 1 Daniell, la tension superficielle sur la même surface a augmenté de 0,35 de sa valeur primitive. Si l'on supprime la pile et qu'on réunisse α et β par un fil métallique, M reprend exactement sa position primitive.

La tension superficielle en M est fonction *continue* de la force électromotrice qui a lieu sur la même surface. On peut faire varier la force électromotrice en M d'une manière continue, en réunissant les pôles de la pile par un fil métallique, dont on fait varier la résistance d'une manière continue.

A chaque valeur de la résistance correspond une position d'équilibre du ménisque; ces positions d'équilibre se suivent d'une manière continue. Cette méthode a permis de déterminer, point par point, la courbe qui représente la variation de la constante capillaire en fonction de la force électromotrice de polarisation.

Deuxième expérience. — Cette expérience est l'inverse de la précédente : l'inverse, comme la production d'un courant induit est l'inverse d'une action électromagnétique.

La pile de l'expérience précédente est supprimée et remplacée par un galvanomètre; les extrémités du fil du galvanomètre communiquent avec α et β. Cette fois, l'aiguille étant au repos, on fait varier mécaniquement le niveau du mercure en M, en soulevant le réservoir A, ou bien en comprimant l'air qu'il contient. Aussitôt l'aiguille est déviée et indique un courant allant dans l'appareil de M en B. Si l'on renverse le sens du mouvement, le sens du courant est renversé. La quantité d'électricité dégagée est proportionnelle à la variation de la surface de contact des deux liquides dans le tube GG'.

Troisième expérience. — Un appareil plus simple que le précédent permet d'obtenir un courant électrique permanent.

Un entonnoir de verre A (*fig.* 2) contient du mercure qui s'écoule par la pointe effilée de l'entonnoir; cette pointe plonge dans l'eau acidulée contenue dans le vase B; au fond de ce vase est une couche de mercure; deux fils de platine α, β mettent la masse de mercure A et B en communication avec les extrémités du fil d'un galvanomètre. L'aiguille du galvanomètre est déviée dès que le circuit est fermé, et reste déviée d'une manière permanente aussi longtemps que dure l'écoulement, c'est-à-dire aussi longtemps que l'on veut. L'accroissement de surface de chaque goutte de mercure, qui grossit avant de se détacher de la masse continue A, est ici encore la cause du courant.

Électromètre capillaire.— L'appareil de l'expérience première, modifié, constitue le plus précis et le plus sensible des électromètres. Un tube de verre vertical, ouvert aux deux bouts, se termine à sa partie inférieure par un canal effilé de $0^m,005$ de rayon intérieur. On y verse une colonne de $0^m,850$ de mercure, laquelle est soutenue par la pression capillaire du ménisque de $0^m,005$ de rayon qui se forme dans la partie effilée. Ce ménisque forme (comme le ménisque M) une des électrodes d'un voltamètre à électrodes de mercure. Pour mesurer la force électromotrice d'une pile, on l'intercale entre ces deux électrodes. La force électromotrice de polarisation qui se produit fait équilibre à celle qu'on veut mesurer; en même temps, le ménisque est refoulé. On le ramène à sa première position, laquelle est déterminée par le réticule d'un microscope dont le grossissement est de 220, en exerçant sur le mercure une pression compensatrice avec de l'air comprimé, pression qu'on mesure directement et qui sert de mesure à la force électromotrice. Exemple : force électromotrice, 0,374 Daniell; pression, $0^m,234$ mercure. Pour de très-petites forces électriques, on peut laisser la pression constante, et mesurer à l'aide d'un micromètre oculaire le déplacement du ménisque. On a mesuré ainsi les millièmes et estimé les dix-millièmes de la force électromotrice d'un Daniell.

SÉANCE DU 8 MAI 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.
Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Clamond expose sous les yeux de la Société des piles thermo-électriques formées par des lames de fer et par un alliage spécial : ces piles fonctionnent à l'aide de la chaleur fournie par la combustion du gaz d'éclairage et ne dépensent qu'un prix minime par heure.

Munies d'un rhéomètre de M. Giroud, qui permet d'amener le gaz sous une pression constante, le courant de ces piles est très-uniforme et peut servir d'une manière continue pendant des semaines entières.

Au point de vue industriel, elles ont reçu des applications diverses, spécialement à la galvanoplastie.

Ces piles peuvent servir à répéter diverses expériences de cours, notamment les expériences de la bobine d'induction, les tubes lumineux, etc.

M. Bertin exécute ensuite devant la Société un grand nombre d'expériences de projection, à l'aide d'un appareil construit par M. Duboscq : les dispositions ont été combinées de telle sorte que la plupart des expériences d'optique peuvent être facilement projetées ; les plus intéressantes se rapportent aux phénomènes de polarisation sous toutes les formes convenables pour faciliter l'enseignement.

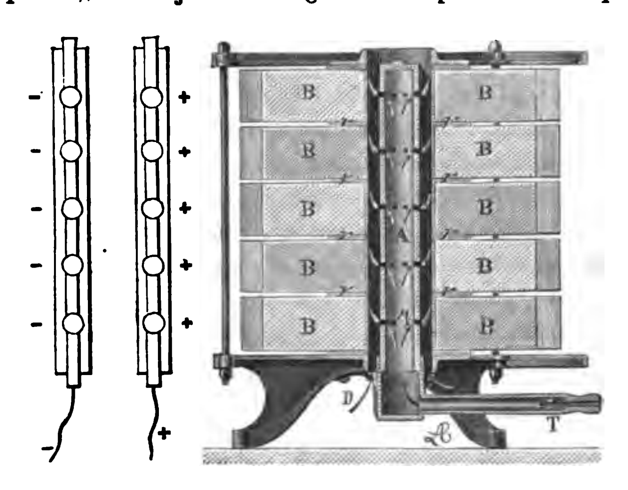
La séance est levée à 9 heures et demie.

Sur une nouvelle pile thermo-électrique; par M. C. Clamond.

La pile thermo-électrique, que j'ai nommée *générateur thermo-électrique*, ne présente dans son ensemble rien qui soit absolument

nouveau ; mais, par les détails de sa construction et son mode de chauffage, elle réalise un appareil essentiellement pratique et industriel, puisqu'elle réunit cette double qualité de produire sous un petit volume et avec une dépense de gaz relativement faible un courant énergique et constant.

Je crois, avant d'entrer dans les détails techniques concernant mon appareil, devoir jeter un regard rétrospectif sur la question.



Coupe suivant l'axe vertical de l'appareil. Vue des armatures, les barreaux étant assemblés en surface.

T Tubulure servant à l'arrivée du gaz.
A Tuyau en terre réfractaire, percé de trous N par lesquels s'écoule le gaz mélangé à l'air pour brûler dans l'espace annulaire.
D Prise d'air servant à la combustion.
BB Barreaux thermo-électriques.
rr Rondelles en amiante servant à isoler les éléments du générateur.

Les courants thermo-électriques découverts par Seebeck ont été l'objet d'études très-approfondies de la part de savants distingués, entre autres de MM. Marcus et Ed. Becquerel. Ce dernier a longuement et minutieusement étudié les lois du développement des courants thermo-électriques, dans des substances différentes et à diverses températures, et l'on peut dire que, si ses travaux n'ont pas produit une pile thermo-électrique pratique, ils n'en ont pas moins droit à la reconnaissance de tous ceux qui se sont occupés d'applications thermo-électriques.

Le premier essai d'appareil pratique fut fait par M. Farmer, qui produisit deux de ses modèles à l'Exposition universelle de 1867. Ces appareils, réellement remarquables, avaient le défaut de perdre rapidement leur force. Les barreaux, excessivement fragiles, se brisaient en se refroidissant.

Le 31 mai 1869, M. Becquerel présentait à l'Institut une pile thermo-électrique que j'avais construite en collaboration avec M. Mure, avec des couples de galène et des lames de fer.

Il constatait en même temps que l'affaiblissement du courant provenait, non de la diminution de la force électromotrice, mais de l'augmentation de la résistance de l'appareil. Je dois dire, pour rendre justice à mon collaborateur d'alors, M. Mure, que si nos efforts communs ne parvinrent pas à rendre les piles à galène durables, ils contribuèrent à donner aux barreaux et à l'ensemble de la pile une disposition que j'ai conservée, n'en ayant pas trouvé de meilleure.

Les recherches que j'ai faites par la suite m'ont prouvé que l'augmentation de la résistance intérieure était due à deux causes :

1° Oxydation des contacts des lames polaires avec le barreau cristallisé, sous l'influence de la chaleur;

2° Fendillation du barreau et séparation de ses différentes parties suivant des plans perpendiculaires à sa longueur.

J'ai évité le premier inconvénient par une disposition particulière de l'attache de la lame polaire. A cet effet la lame métallique, découpée au balancier, est repliée sur elle-même de manière à présenter une ou plusieurs charnières. Ces charnières, prises dans la coulée, se trouvent d'abord enveloppées par le métal, qui s'introduit ensuite dans leur intérieur et forme ainsi des noyaux métalliques. Ces derniers, se dilatant plus que les charnières, pressent constamment contre elles, de sorte que l'action de la chaleur ne tend qu'à raffermir les contacts.

Quant au second inconvénient, il était bien plus difficile à constater et à éviter.

Lorsqu'on coule un corps thermo-électrique, soit un métal, soit un sulfure métallique, dans un moule froid de forme cubique, il se forme trois plans de séparation parallèles aux faces du cube, de sorte que l'on obtient par le fait huit cubes séparés. Ces séparations ne sont pas visibles de premier abord; mais, après avoir chauffé

plusieurs fois de suite la masse, on constate en la brisant l'existence de ces trois plans par des couches noires provenant de l'oxydation de ces surfaces intérieures. Ce fait peut s'expliquer en ce sens que les corps thermo-électriques, étant dépourvus d'élasticité et tous plus ou moins cassants, se séparent en parties distinctes qui cristallisent sur les parois du moule. Les corps thermo-électriques coulés dans des moules froids sont excessivement fragiles. On a cru, en faisant recuire ces barreaux, améliorer leur condition physique. Le recuit donne au barreau un aspect plus solide, mais ne fait que développer les fentes qui se sont formées par la coulée. J'ai monté des piles avec des barreaux recuits et d'autres non recuits, soit en galène, soit en alliages métalliques, et j'ai toujours remarqué que les barreaux recuits faiblissaient plus rapidement encore que les autres. Les conditions à remplir pour obtenir des barreaux homogènes sont les suivantes : annihiler l'influence des parois du moule et empêcher le plus possible la cristallisation.

J'ai employé à cet effet un procédé analogue à celui qui est usité pour donner aux bougies stéariques de la solidité en empêchant la cristallisation. Le moule étant chauffé à une température très-voisine du point de fusion de la substance thermo-électrique, celle-ci est coulée elle-même très-près de son point de solidification.

J'ai adopté pour la confection de mes couples l'alliage de zinc et d'antimoine employé par Marcus et des lames de fer pour armatures. J'ai adopté l'alliage antimoine et zinc, parce qu'il est bon conducteur de l'électricité et parce que la température de son point de fusion rend plus pratique et plus facile à réaliser mon mode de coulage; mais je dois, en passant, signaler un fait qui est en opposition avec les idées admises jusqu'à ce jour.

On sait que l'alliage zinc et antimoine possède la propriété thermo-électrique à son maximum d'intensité lorsqu'il est composé d'équivalents chimiques égaux des deux métaux qui le constituent. Or l'expérience m'a conduit à affaiblir la tension de mes barreaux de manière à gagner en quantité ce que je perds en tension. Ainsi le modèle que j'ai l'honneur de soumettre à la Société dépose 20 grammes de cuivre à l'heure, et le même modèle, construit avec des barreaux du même alliage d'une tension plus forte, ne dépose que 12 grammes à l'heure. Cela tient à ce que la résistance du barreau diminue plus vite que sa force électromotrice et que, par le

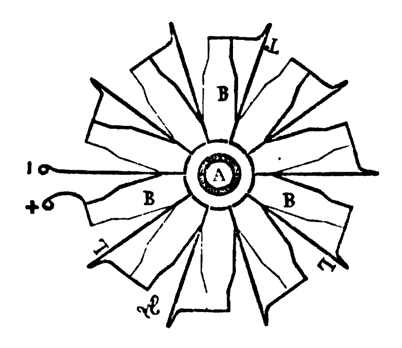
fait, la constante $\frac{E}{R}$ du couple augmente. Il résulte de là que les barreaux les plus énergiques ne sont pas ceux qui constituent les piles les plus énergiques.

J'emploie le fer préférablement au cuivre et à l'argentan, parce que ces derniers métaux sont attaqués, dissous par l'alliage, et que les armatures qu'ils constituent sont mises rapidement hors de service. Le fer, au contraire, résiste très-bien.

Ainsi construits, les barreaux thermo-électriques ont pu constituer des piles qui ne sont plus sujettes à détérioration. J'ai dû à l'obligeance de M. Jamin la faculté de faire fonctionner ces appareils dans son laboratoire de la Sorbonne et d'y continuer mes études et mes travaux. C'est ainsi qu'un de mes appareils y a fonctionné six mois sans éprouver de variation.

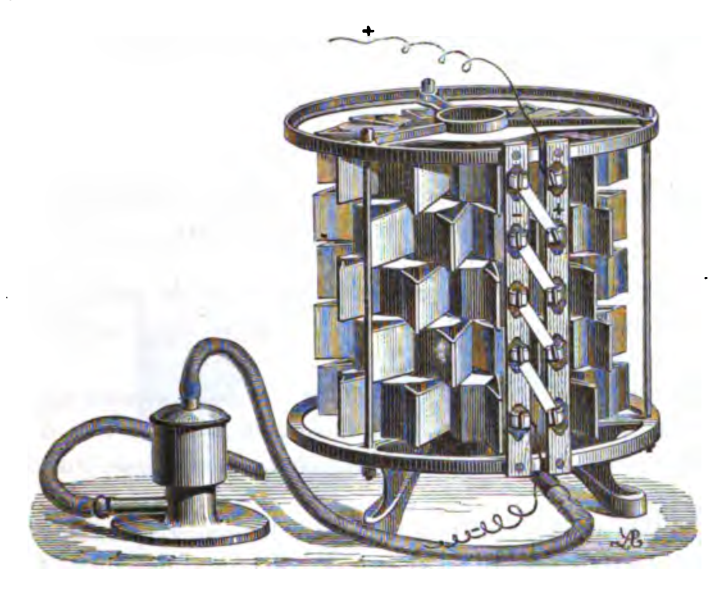
Voici, du reste, la disposition de l'appareil :

Les barreaux sont assemblés en couronnes et accouplés en tension. Ces couronnes, composées de dix barreaux chacune, sont superposées et séparées entre elles par des rondelles en amiante.



Le tout forme un cylindre dont l'intérieur est luté avec de l'amiante et chauffé au moyen d'un tuyau en terre réfractaire percé de trous. Le gaz, mélangé à l'air, sort de l'intérieur de ce tuyau et vient brûler dans l'espace annulaire compris entre le tube et les barreaux. Les extrémités des couronnes viennent aboutir à des pinces en cuivre fixées sur deux planchettes. Les couronnes peuvent être accouplées en tension ou en surface : la surface que peut recouvrir chaque couronne est de 7 décimètres carrés, ce qui fait

35 décimètres carrés pour toute la pile. On obtient alors un dépôt moyen de 20 grammes à l'heure de cuivre de bonne qualité.



La dépense du gaz est réglée au moyen d'un régulateur (rhéomètre) de M. Giroud, qui la rend invariable et met à l'abri des variations de pression.

Ainsi disposée et construite, la pile marche des mois entiers sans entretien ni surveillance, fournissant un courant absolument constant.

Le modèle présenté dépense 170 litres, c'est-à-dire environ 5 centimes de gaz à l'heure, et dépose 20 grammes de cuivre, ce qui porte la dépense de gaz par kilogramme de cuivre déposé à $2^{fr},50$. Un certain nombre de ces modèles fonctionnent depuis plusieurs mois dans les ateliers de galvanoplastie, entre autres ceux de la maison Goupil et de l'imprimerie de la Banque.

J'ajouterai, avant de terminer, que je construis des modèles de différentes grandeurs. J'ai reconnu que la quantité d'électricité augmente proportionnellement à la grosseur des pièces. Je fais donc des barreaux de dimensions très-variables et dont les poids varient de 50 grammes à 4 kilogrammes. L'expérience m'a démontré qu'à nombre égal de couples les poids de cuivre déposé étaient proportionnels aux poids des couples.

Les couples qui constituent l'appareil en question pèsent 200 grammes; trente d'entre eux équivalent à un couple de Bunsen de 18 centimètres de hauteur. La force électromotrice de l'appareil est donc à celle d'un couple de Bunsen comme 5 est à 3.

Notice sur l'appareil Duboscq pour projeter les expériences de polarisation; par M. Bertin.

Quand on passe en revue les expériences de polarisation et qu'on les étudie au point de vue de la projection, on les divise naturellement en trois classes :

1° Celles qui se font dans la lumière parallèle, avec les appareils de Malus, de Norremberg, d'Haidinger, etc., et que l'on désigne sous les noms de *polarisation blanche, chromatique, rotatoire, dichroïque,* etc.

2° Celles qui devraient se faire dans la lumière parallèle, mais qui, exigeant beaucoup de champ, ne peuvent se produire réellement que dans la lumière *divergente.* On observe encore ces phénomènes avec l'appareil de Norremberg, mais en ajoutant une lentille sur le cristal. Telles sont les franges du compensateur de Babinet, les figures du gypse, les couleurs des verres trempés, etc.

3° Enfin celles qui se font dans la lumière *convergente;* soit avec la pince à tourmalines, soit avec le microscope polarisant ([1]).

L'appareil Duboscq, représenté dans les *fig.* 1 et 2, permet de réaliser ces trois classes d'expériences. Il se compose de deux systèmes optiques pouvant glisser sur une règle horizontale, et qui sont destinés à recevoir et à modifier un faisceau lumineux parallèle à la règle, provenant d'une source quelconque (Soleil, lampe électrique, lampe Drummond). L'un de ces systèmes est tourné vers la source et peut recevoir le *polariseur;* l'autre est tourné vers le tableau de projection et porte l'*analyseur;* entre les deux se placent les différents corps qui doivent être traversés par la lumière.

([1]) *Voir* ma *Notice sur le microscope polarisant* (*Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, t. LXIX, p. 87).

Cet appareil doit être modifié de trois manières différentes pour les trois cas dont nous avons parlé et que nous désignerons par les noms de lumière *parallèle,* lumière *divergente* et lumière *convergente.*

I.

LUMIÈRE PARALLÈLE.

Les expériences dans la lumière parallèle se projettent avec l'appareil représenté dans la *fig.* 1. La partie P est tournée vers la



Fig. 1.

source qui lui envoie un faisceau de rayons parallèles. Ce faisceau traverse ensuite le tube AD, qui est composé de deux parties : celle qui est tournée vers la source est fixe ; l'autre est à tirage et se termine à l'intérieur par une lentille de projection L et à l'extérieur par un analyseur A. Cette disposition se prête aux cinq séries d'expériences suivantes :

1re SÉRIE. — *Polarisation blanche.*

J'ai proposé à M. Duboscq d'ajouter cette série aux expériences qu'il faisait auparavant, parce qu'elle est la base de toutes les autres.

1° *Polarisation par réflexion.* — Plaçons en P un polariseur à glace noire ou mieux encore un polariseur *Delezenne,* qui nous permettra de mettre l'appareil dans la direction de la source lumineuse. Dans la figure, la lettre T désigne un diaphragme à trous; on l'enlèvera et l'on introduira le polariseur Delezenne dans le support P, en ayant soin que le plan de réflexion de ce polariseur soit vertical. On projettera ensuite sur le tableau l'image de l'ouverture du polariseur à l'aide de la lentille L, et enfin on placera en A un analyseur formé par une glace noire inclinée de 35°25′ sur l'axe du tube :

A. Si la glace noire réfléchit verticalement, elle enverra au plafond une image brillante de l'ouverture du polariseur.

B. Cette image sera presque éteinte si la glace réfléchit horizontalement.

C. Et alors elle s'éclaircira si l'on change l'inclinaison de la glace sur le rayon.

2° *Polarisation par réfraction.* — En enlevant la glace noire de son cadre, on trouvera au-dessous une petite pile de glaces que l'on inclinera encore de 35°25′ sur le rayon :

A. Si la pile réfléchit verticalement, l'image réfléchie sera brillante, mais l'image transmise sera sombre.

B. Si la pile réfléchit horizontalement, l'image réfléchie sera sombre, mais l'image transmise deviendra plus brillante.

C. L'effet sera moins marqué si l'on enlève quelques-unes des lames de la pile, ou si l'on change son inclinaison sur le rayon.

3° *Double réfraction.* — Enlevons le polariseur Delezenne. Mettons en D un diaphragme avec une ouverture en losange portant une petite fente sur l'un de ses angles obtus, et projetons l'image de ce losange sur le tableau à l'aide de la lentille L. Enfin plaçons en A un prisme biréfringent, à image ordinaire droite, agissant par conséquent comme un rhomboèdre de spath. L'analyseur et le diaphragme sont goupillés, de manière que la face naturelle du rhomboèdre, qui est un losange, se projette sur le losange du diaphragme, et que l'angle obtus du rhomboèdre soit indiqué par la petite fente de celui-ci :

A. On voit sur le tableau deux losanges lumineux : leurs petites diagonales sont en ligne droite, ce qui prouve qu'elles indiquent la section principale, et l'on remarque de plus que l'image extraordinaire est déviée du côté de l'angle obtus du rhomboèdre.

B. En tournant le tube AD sur lui-même, l'image ordinaire tourne sur elle-même; l'extraordinaire tourne autour de la première, mais les deux images conservent leurs positions relatives.

4° *Polarisation par double réfraction.* — Remettons en place le polariseur Delezenne, toujours avec son plan de réflexion vertical, et recommençons l'expérience précédente :

A. L'image ordinaire est éteinte quand la *petite* diagonale du losange est horizontale : donc elle est polarisée suivant la *petite* diagonale.

B. L'image extraordinaire est éteinte quand la *grande* diagonale du losange est horizontale : donc elle est polarisée suivant la *grande* diagonale.

C. Quand les losanges ont leurs diagonales à 45 degrés, les deux images sont égales.

D. Quand on place devant le diaphragme un quartz parallèle épais, rien n'est changé s'il est dans l'azimut zéro; mais la polarisation disparait et les deux images sont toujours égales si la section principale du quartz est à 45 degrés de celle du polariseur.

5° *Polarisation par un Nicol.* — Remplaçons l'analyseur biréfringent par un Nicol, orienté de manière que sa base, qui est un losange, se projette sur le losange du diaphragme.

On ne verra plus sur le tableau qu'un seul losange ; il sera très-brillant quand la grande diagonale sera verticale, et s'éteindra quand elle sera horizontale : donc le Nicol polarise suivant la grande diagonale de sa base, ou ne transmet que le rayon extraordinaire.

6° *Polarisation par une tourmaline.*—Remplaçons le Nicol par une tourmaline fixée dans une bonnette goupillée, de manière que, mise en place, l'axe du cristal soit parallèle à la petite diagonale du losange du diaphragme.

On verra sur le tableau une seule image en losange, qui s'éteindra quand la petite diagonale sera horizontale : donc la tourmaline polarise perpendiculairement à son axe, ou ne transmet que le rayon extraordinaire, comme le Nicol.

7° *Expérience des rhomboèdres croisés d'Huyghens.* — Enlevons le polariseur et remettons en place le diaphragme à trous T, dans lequel nous choisirons un trou de grandeur convenable, que nous projetterons sur le tableau à l'aide de la lentille L. L'analy-

seur biréfringent, replacé en A, donnera deux images écartées de ce trou. Si on lui superpose un second analyseur semblable, on verra quatre images qui, par la rotation du second prisme, pourront se réduire à deux, et même à une si les deux prismes sont parfaitement égaux.

8° *Expérience de M. Desains.* — (Elle sera décrite plus loin, au début du second article.)

2° SÉRIE. — *Dichroïsme.*

Le polariseur est enlevé : nous avons toujours en A l'analyseur biréfringent. Si nous plaçons contre l'extrémité D du tube une lame dichroïque, nous aurons précisément la loupe dichroscopique d'Haidinger. A l'aide de la lentille L, nous projetterons sur le tableau la double image de la lame.

A. Les deux images de la lame seront en général de couleurs différentes, et en tournant soit la lame, soit l'analyseur, on verra ces couleurs changer. On choisira les cristaux les plus dichroïques, tels que l'épidote, la pennine, l'acétate de cuivre, le sulfate cobalto-potassique, l'oxalate chromopotassique, le platinocyanure de magnésium, etc.

B. Expériences semblables faites avec des cubes de cristaux dichroïques que l'on fait tourner devant le diaphragme D.

3° SÉRIE. — *Polarisation chromatique (lames minces cristallisées).*

Dans les expériences suivantes, pour avoir plus de lumière, on polarise avec un spath qui ne doit donner qu'un seul faisceau. Ce qu'il y aurait de mieux certainement serait d'employer un gros prisme de Nicol; mais le prix en serait fort élevé, et c'est uniquement par économie que M. Duboscq fait usage du prisme biréfringent, en ayant soin d'intercepter toujours l'un des rayons. Il emploie donc pour polariseur un système de deux prismes biréfringents, achromatisés par des prismes de crown, de manière à ramener le rayon extraordinaire dans l'axe de l'appareil. Ces deux prismes ajoutent leurs déviations, et leur ensemble donne aux deux rayons un écart d'environ 11 degrés; ils se placent dans la monture du diaphragme à trous T. Comme il est absolument nécessaire de connaître le plan de polarisation, une goupille maintient le diaphragme, de telle

sorte que les sections principales des deux prismes soient horizontales. Le rayon extraordinaire, qui se meut dans l'axe de l'appareil, est alors polarisé dans un plan vertical; quant au rayon ordinaire, il est rejeté de côté, et l'on s'arrange toujours pour qu'il ne vienne pas se mêler au rayon central, ce qui détruirait la polarisation.

Le polariseur étant en place, on limite le faisceau polarisé par le diaphragme à trous T, qui permet de choisir pour chaque expérience une ouverture de grandeur convenable. On voit dans la figure que ce diaphragme porte en avant une virole C; elle est destinée à recevoir une bonnette dans laquelle est fixée la lame cristallisée. Celle-ci peut être quelconque, quartz, gypse, mica, etc. On obtiendra de belles couleurs avec un quartz parallèle, de l'épaisseur qui donne le rouge du second ordre. Il importe que la section principale de la lame soit connue; il faut donc l'indiquer sur la bonnette par une encoche ou par une saillie que l'on puisse sentir dans l'obscurité. On peut aussi placer la lame à l'extrémité D du tube AD.

L'ouverture D du tube analyseur étant assez éloignée pour que le rayon extraordinaire reste en dehors, on projettera sur le tableau l'image de la lame, en donnant un tirage convenable au tube qui porte la lentille L, puis on analysera le faisceau en A, avec l'analyseur biréfringent, dont la section principale est, comme nous l'avons vu, toujours indiquée par la ligne qui joint les centres des deux images.

A. En amenant les deux images dans la verticale, on voit qu'elles sont en général colorées de teintes complémentaires dont la superposition reproduit du blanc, et que leur éclat est maximum quand la section principale de la lame est dans l'azimut 45 degrés, et l'analyseur dans l'azimut zéro. En tournant soit la lame, soit l'analyseur, on voit les images devenir incolores, puis passer chacune à la couleur complémentaire, sans prendre d'autres teintes; en un mot on vérifie toutes les conséquences de la théorie.

B. D'autres lames tenues à la main donneront des effets analogues. On y reconnaîtra les directions du maximum de couleur, et en faisant tourner la lame autour de ces directions on pourra distinguer la section principale de la section perpendiculaire par la manière dont les couleurs varient avec l'épaisseur traversée par le rayon.

C. On peut aussi essayer de cette manière quelques substances à double réfraction accidentelle, telles que des lames d'œil de poisson, de pointes d'oursin, de gomme copal, etc.

4e SÉRIE. — *Polarisation rotatoire.*

A. Remplaçons dans la première des expériences précédentes le quartz parallèle mince par un quartz perpendiculaire épais; nous verrons encore sur le tableau deux images complémentaires, qui pourront être identiques aux premières, si les deux quartz sont convenablement choisis (1); mais il y a entre les deux expériences deux différences caractéristiques :

1° Si l'on tourne le quartz perpendiculaire autour du rayon, les couleurs ne changent pas, tandis qu'elles changeaient quand on tournait le quartz parallèle.

2° Si l'on tourne l'analyseur, les couleurs du quartz perpendiculaire passent par toutes les teintes, tandis qu'avec le quartz parallèle elles passaient seulement à la couleur complémentaire.

B. Remplaçons l'analyseur biréfringent par un Nicol que nous mettrons d'abord à l'extinction, puis épurons la lumière par un verre rouge et mettons en place le quartz perpendiculaire : nous verrons la lumière reparaître, et il faudra pour l'éteindre tourner le Nicol, soit à droite, soit à gauche, suivant le sens de la rotation du quartz, dont on aura ainsi la mesure.

C. Répétons l'expérience avec la lumière blanche : en tournant le Nicol, nous n'éteindrons plus l'image, mais nous la ferons passer par diverses teintes. Si la teinte monte, c'est-à-dire si elle varie du rouge au bleu, dans l'ordre des couleurs du spectre, c'est que le Nicol a été tourné dans le sens de la rotation du quartz : si elle baisse (bleu, jaune, rouge), c'est qu'on a tourné le Nicol en sens contraire. Quand on est arrivé à la *teinte sensible en passant du bleu au rouge,* la rotation du Nicol mesure la rotation du quartz pour les rayons jaunes.

D. Couleur du quartz de diverses épaisseurs, avec le Nicol à zéro.

E. Plaque à deux rotations.

F. Chlorate de soude.

(1) Le quartz de 6 millimètres, dont Arago se servait toujours, convient très-bien; il donne le rouge du second ordre comme notre quartz parallèle.

G. Plaque à deux rotations avec chlorate de soude.

H. Pouvoir rotatoire du cinabre, du sulfate de strychnine, du periodate de soude, des hyposulfates de potasse, de strontiane et de plomb ; mais on a difficilement de bons échantillons de tous ces corps.

I. Pouvoir rotatoire des liquides, eau sucrée, essence de térébenthine, acide tartrique, etc. On les renferme dans un tube placé entre l'analyseur et la plaque à deux rotations.

J. Saccharimétrie : on peut monter sur l'appareil toutes les pièces du saccharimètre, et projeter par conséquent une expérience complète de saccharimétrie par la méthode de M. Soleil.

5ᵉ SÉRIE. — *Polarisation circulaire et elliptique.*

En mettant un mica d'un quart d'onde sur le trajet de la lumière polarisée, la polarisation reste rectiligne si le mica est dans l'azimut zéro; elle devient circulaire s'il est à 45 degrés; enfin elle est elliptique si sa section principale fait avec le plan de polarisation un angle compris entre zéro et 45 degrés. Si le rayon traverse en même temps une lame cristallisée, la lumière est polarisée elliptiquement en entrant ou en sortant, ou des deux côtés à la fois; les images changent de couleur, et l'on peut faire rendre à une lame parallèle les effets d'un quartz perpendiculaire.

Pour projeter ces phénomènes, nous analyserons avec un Nicol, que nous mettrons d'abord à l'extinction; puis nous placerons devant le diaphragme à trous notre quartz parallèle dans la position où il donne le maximum de coloration.

A. Si maintenant nous plaçons en D un mica d'un quart d'onde, et que nous tournions, soit ce mica, soit l'analyseur, nous verrons l'image passer par des teintes semblables à celles de la polarisation rotatoire.

B. Le mica que nous avons mis en D porte une virole dans laquelle nous pouvons introduire la bonnette de la lame. Plaçons ensuite un second mica dans le porte-cristaux C. Disposons les trois bonnettes de manière que la section principale de la lame soit à 45 degrés des sections principales des deux micas, celles-ci étant parallèles ou croisées. Dans les deux cas, en tournant l'analyseur, on verra des images se teindre de couleurs analogues à celles de la polarisation rotatoire.

C. Elles seront identiques si les micas sont croisés. Le quartz parallèle, placé entre ces deux micas (toujours à 45 degrés de leurs sections principales), se comportera exactement comme un quartz perpendiculaire droit ou gauche, suivant que sa section principale sera à droite ou à gauche de celle du mica polariseur.

D. Réciproquement, le quartz perpendiculaire, placé entre deux micas d'un quart d'onde croisés, perd son pouvoir rotatoire et se comporte comme une lame unique parallèle à l'axe ([1]).

II.

LUMIÈRE DIVERGENTE.

L'appareil pour la lumière divergente et pour la lumière convergente est représenté dans la *fig.* 2. Nous supposerons d'abord qu'on a enlevé la pince P.

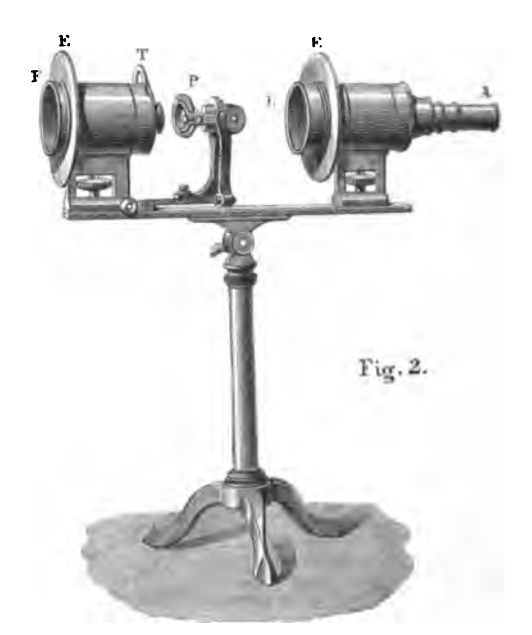


Fig. 2.

Le système analyseur est entièrement différent du précédent. Il

([1]) *Voir* la Note de M. Soleil dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XX, p. 214. *Voir* aussi, à la page 207 du même volume, la Note de M. Reusch, à laquelle on pourra emprunter plusieurs expériences intéressantes.

se compose d'une grande lentille de champ L (diamètre 5 centimètres; foyer 7 centimètres) et d'un Nicol analyseur A qui porte lui-même, à l'entrée des rayons lumineux, une petite lentille (diamètre $1^c,6$; foyer 13 centimètres) ([1]).

Le polariseur est peu changé : il a suffi de lui ajouter en F un focus, c'est-à-dire une lentille convergente (diamètre $5^c,5$; foyer 7 centimètres). Ce focus, qui est habituellement composé de deux lentilles plan-convexes, fait converger les rayons à une petite distance en avant du diaphragme à trous. Réunis en ce point, ces rayons divergent de nouveau et viennent éclairer tout le champ de la lentille L du système analyseur.

C'est contre cette lentille que l'on place successivement les lames de grande dimension que l'on veut observer. Elles sont autant que possible montées sur des lièges; on les place alors dans une bague qui s'introduit dans la monture de la lentille. Ces lames sont éclairées sur toute leur surface par le faisceau divergent, et le système convergent formé de la lentille de champ et de celle du Nicol projette l'image de ces lames sur le tableau.

1re SÉRIE. — *Polarisation chromatique.*

Lames minces cristallisées de grande dimension. — Placez toujours le Nicol à l'extinction et les lames dans l'azimut 45 degrés.

A. *Quartz parallèle, disque concave.* — Ce quartz donne des anneaux : en le combinant avec un quartz parallèle mince, on voit les anneaux changer de couleur, et, si l'épaisseur est convenable, il se forme un anneau noir quand les sections principales sont croisées.

B. *Quartz (ou gypse) parallèle prismatique.* — Donnant des bandes colorées plus ou moins étalées. Une même lame peut donner ainsi trois spectres d'interférence, par exemple du premier au troisième ordre, ou du troisième au cinquième ordre.

([1]) Ce système constitue un excellent analyseur à projection, qui, substitué au tube AD de la *fig.* 1, donnerait un appareil à lumière parallèle avec lequel on pourrait répéter les expériences des quatre dernières séries. Il serait cependant utile, dans ce cas, d'allonger le foyer de la lentille L et de diminuer son diamètre; on obtient ce résultat en lui accolant une lentille divergente pour obtenir un système de $16^c,5$ de foyer (diamètre $2^c,5$). On peut alors enlever la lentille du Nicol, ou bien on analysera avec le prisme biréfringent.

C. *Compensateur de Babinet.* — Il est formé par deux quartz prismatiques parallèles, égaux, renversés et croisés. Il donne toujours des bandes parallèles avec une raie noire au milieu.

D. *Figures des lames de gypse, étoile, fleur, papillon, etc.* — Très-belles figures colorées. En tournant l'analyseur, on ne peut changer les couleurs qu'en les faisant passer à la teinte complémentaire, par exemple du rouge au vert. Si l'on veut obtenir une plus grande variété de teintes, il faut recourir à la polarisation elliptique; il suffit de faire tourner devant la lame un mica d'un quart d'onde, que l'on aura placé dans le porte-cristal C du diaphragme à trous [1]. (*Voir* la sixième série de la lumière parallèle.)

2e SÉRIE. — *Polarisation rotatoire.*

Quartz perpendiculaire de grande dimension. — Les figures que l'on obtient devraient être à teintes plates et le seraient certainement si la lumière était bien parallèle; mais, comme elle est divergente, les diverses parties des lames ne sont pas traversées sous la même épaisseur, et par conséquent on voit, ici surtout, où les lames sont épaisses, des changements de teinte qui altèrent un peu les figures normales. C'est un inconvénient dont il faut prendre son parti, parce qu'on ne pourrait le faire disparaître qu'en compliquant l'appareil.

A. *Améthyste.*

B. *Quartz anormaux divers.*

C. *Quartz à deux rotations.* — Il est bon que ce quartz ait une épaisseur qui donne la teinte sensible quand le Nicol est à l'extinction. Alors, quand on tourne le Nicol, les deux moitiés de la lame séparées par une ligne noire frangée virent l'une au bleu, l'autre au rouge.

D. *Biquartz prismatique de Soleil.* — Il est formé par deux prismes égaux de quartz droit et gauche, accolés par leurs bases triangulaires et achromatisés par un prisme de crown, de même angle, collé sur le plan hypoténuse commun. Quand l'analyseur est à l'extinction, cette lame composée donne un seul spectre dont les couleurs correspondent à l'inégale épaisseur du quartz; mais, si

---

(1) M. Duboscq a aussi adapté un porte-mica à son Nicol, mais on peut s'en passer. Il n'est même pas commode, parce qu'on ne sait jamais comment ce mica est tourné.

l'on tourne l'analyseur, les couleurs varient en sens contraires dans les deux prismes, et le spectre d'abord unique se sépare en deux spectres juxtaposés dont les couleurs ne se correspondent plus.

E. *Polariscope de Senarmont.* — Il est formé en remplaçant dans l'appareil précédent le prisme de crown par deux prismes de quartz, de rotations contraires, mais disposés en sens inverse des premiers. Quand l'analyseur est à l'extinction, cet appareil donne dans chaque moitié une ligne noire de même direction; mais, dès que l'analyseur tourne, les deux lignes noires se séparent.

3e SÉRIE. — *Double réfraction irrégulière.*

A. *Verres trempés* de différentes formes.

B. *Larmes bataviques,* soit nues, soit placées dans une cuve à faces parallèles remplie d'acide phénique.

C. *Verre chauffé.* — Ces verres donnent des lignes noires, ou même des couleurs tant qu'ils s'échauffent. Lorsqu'une fois ils ont pris dans toute leur masse la température de la pince chaude dans laquelle ils sont placés, toute trace de trempe disparait. Si en ce moment on enlève le verre, qui est chaud, pour refroidir la pince seule, en la plongeant dans l'eau froide, et si l'on remet le verre chaud dans la pince froide, les couleurs de la trempe reparaissent.

D. *Verre comprimé.* — L'axe de pression étant dans l'azimut 45 degrés.

E. *Verre ployé.* — Le Nicol étant toujours à l'extinction, si l'on ploie la lame lorsqu'elle est dans l'azimut 45 degrés, on voit une ligne courbe noire se former au milieu. L'image peut être colorée, en mettant dans le porte-cristal C, devant le diaphragme à trous, une lame parallèle mince, par exemple le quartz parallèle qui donne le rouge du second ordre. Si la section principale du quartz est parallèle à la lame, on voit dans l'image projetée la courbe noire qui devient rouge, tandis que la lame devient verte dans la partie convexe et jaune dans la partie concave. La partie convexe ou dilatée de la lame a donc agi sur le quartz pour augmenter son épaisseur; elle a donc pris une double réfraction, de même signe que le quartz ou *positive,* tandis que la partie concave ou comprimée est devenue *négative.* Le verre comprimé de l'expérience D produit un effet analogue.

F. *Verre vibrant.* — Ce verre, dans les parties nodales, se comporte comme un verre comprimé.

G. Les plaques de plusieurs substances, comme la corne, les gommes, les résines, la colle-forte, etc., donnent des couleurs comme les verres trempés.

SUPPLÉMENT AUX DEUX CHAPITRES PRÉCÉDENTS.

1° *Spectres cannelés.*

Cette expérience, qui ne réussit bien qu'avec une lumière très-intense, comme celle du Soleil ou de la lampe électrique, se fait dans la lumière parallèle.

On enlève donc le focus F de la *fig.* 2, puis on met devant le diaphragme à trous une fente verticale.

On ajoute à la lentille L la lentille divergente qui allonge son foyer, et l'on enlève la lentille du Nicol, ou bien on le remplace par un prisme biréfringent, et l'on projette l'image de la fente sur le tableau; en un mot, on dispose l'appareil comme il a été dit dans la Note du chapitre précédent.

En dévissant la monture de l'analyseur, on voit qu'elle porte en dedans un tube court; on y introduit un petit prisme à vision directe, on remet la monture en place et l'on tourne le tube jusqu'à ce que l'arête du prisme soit parallèle à la fente. On voit alors sur le tableau un ou deux spectres, suivant qu'on analyse avec le Nicol ou avec le prisme biréfringent. On met l'analyseur au zéro, ce que l'on reconnaît à ce caractère, que le spectre extraordinaire est éteint.

Si ensuite on place devant la fente une lame cristallisée, dont la section principale soit à 45 degrés, on voit les spectres se séparer de bandes transversales noires qui sont d'autant plus serrées que la lame est plus épaisse.

On peut faire la même expérience avec un quartz perpendiculaire. S'il n'est pas trop épais, on voit naître dans le spectre une large bande noire qui s'avance vers le bleu, quand on tourne l'analyseur dans le sens de la rotation du quartz (ce sens étant déterminé par un œil placé derrière le tableau).

Avec des quartz perpendiculaires plus épais, on peut avoir plusieurs bandes, et même le spectre tout à fait cannelé.

2° *Expérience de M. Desains.*

On peut aussi avec l'appareil Duboscq projeter l'expérience de M. Desains sur les deux nappes de la surface de l'onde du spath, en modifiant l'appareil de la *fig.* 2 de la manière suivante.

Dans le support qui est près de la source, on ne laissera que le diaphragme à trous, dont on choisira la plus grande ouverture. Dans la virole C, on introduira une bonnette qui porte un diaphragme circulaire avec trou central, et par derrière une petite lentille très-convergente. Il sort de ce diaphragme deux faisceaux de lumière, l'un cylindrique et l'autre formé par une nappe conique très-convergente.

Dans le support tourné vers le tableau, on ne laissera que la lentille L (*fig.* 2) et, en faisant glisser le support, on projettera l'image du diaphragme. On verra alors sur le tableau un grand anneau lumineux dont le centre sera marqué par un petit disque, image du trou central.

On a enlevé le support à pince P; on le remplacera par un support à tablette, sur lequel on placera devant le diaphragme un gros spath taillé en lame épaisse, suivant trois directions.

La première est normale à l'axe de la lame;

La deuxième est parallèle à l'axe;

La troisième est oblique, les faces étant les faces naturelles du rhomboèdre.

L'interposition du spath changeant le foyer de la lentille L, les images qu'il donne seront d'abord diffuses. On les rendra nettes en déplaçant le support de la lentille; mais, en se rappelant que les indices du spath sont différents, on comprend que les deux images ne peuvent pas être en même temps d'une netteté parfaite.

A. Si le spath est *perpendiculaire* à l'axe, on voit sur le tableau deux anneaux concentriques; l'anneau intérieur est ordinaire.

B. Si le spath est *parallèle* à l'axe, l'image ordinaire est un anneau circulaire; l'image extraordinaire est une ellipse ayant le même centre, mais coupant le cercle en quatre points.

C. Si le spath est *oblique*, l'image ordinaire est toujours le même anneau, et l'image extraordinaire est encore une ellipse; mais l'ellipse et le cercle n'ont pas le même centre et se coupent en deux

points. Les disques qui marquent les centres des deux images sont les deux images du trou central.

L'expérience est encore plus intéressante dans la lumière polarisée, surtout si l'on colore les images avec un quartz, mais il faut alors polariser avec un gros Nicol; notre polariseur biréfringent donnerait deux faisceaux qu'on ne pourrait plus séparer et, par conséquent, l'effet serait nul (¹).

III.

LUMIÈRE CONVERGENTE.

L'appareil pour la lumière convergente est représenté tout entier dans la *fig.* 2. Nous avons déjà vu que le focus F fait converger les rayons au delà du diaphragme à trous T. Comme il est ici plus important que jamais d'éliminer complétement le rayon extraordinaire, nous choisirons donc le plus petit trou du diaphragme, ou mieux encore nous placerons en C un diaphragme portant un trou qui aura au plus 5 millimètres de diamètre.

C'est un peu au delà de ce trou qu'est le foyer du focus F, et c'est un peu en deçà que nous placerons le cristal tenu avec la pince mobile P.

Les rayons du cône de lumière incidente, après s'être coupés dans l'intérieur du cristal, tomberont divergents sur la petite lentille I, montée sur le même support que la pince pour être très-près du cristal. Cette lentille très-convergente (diamètre 2 centimètres, foyer 2 centimètres) réunira tous ces rayons sur la grande lentille de champ L. Celle-ci les rendra convergents et les fera tous passer à travers le Nicol A, dont la lentille pourra être enlevée si l'on veut. En faisant glisser le support analyseur sur sa règle, on trouvera une position qui projettera distinctement sur le tableau les franges produites par le cristal, et on les amènera au centre du champ par un mouvement convenable de la pince P.

1re SÉRIE. — *Cristaux uniaxes perpendiculaires.*

A. *Anneaux du spath.* — Croix noire, croix blanche, croix grise.

B. Anneaux de divers autres cristaux. En superposant à un cristal

(¹) *Voir* le *Traité de Physique* de M. Desains, t. II, p. 430.

positif un prime de spath perpendiculaire, on fait disparaître la coloration des anneaux, comme dans l'apophyllite.

C. Anneaux de la glace (placée dans une petite cuve) à faces parallèles.

D. Cristaux singuliers, spath hémitrope.

E. Hémitropie artificielle : elle se produit avec un mica d'un quart d'onde, placé dans l'azimut 45 degrés, entre deux quartz perpendiculaires de même épaisseur.

F. *Anneaux d'Airy*. — Ils se produisent quand on place d'un côté du cristal un mica d'un quart d'onde dans l'azimut 45 degrés. Ces anneaux sont formés de quatre segments complémentaires. Les deux plus petits ressemblent à deux taches placées de chaque côté du centre : ces taches servent à reconnaître le signe des cristaux. Quand la ligne des taches et l'axe du mica sont croisés (+) le cristal est positif : quand ces directions se superposent (—) le cristal est négatif [1].

G. *Anneaux sans croix*. — Ils ont aussi été découverts par Airy. On les produit en mettant de chaque côté du cristal deux micas d'un quart d'onde, parallèles ou croisés dans l'azimut 45 degrés. Ces anneaux sont à centre noir si les micas sont croisés et le Nicol à l'extinction. Ils deviennent complémentaires si l'on tourne de 90 degrés, soit le Nicol, soit l'un des micas.

H. *Franges dans la lumière polarisée elliptiquement* — Dans les anneaux d'Airy la lumière était polarisée rectilignement d'un côté et circulairement de l'autre ; dans les anneaux sans croix, elle était polarisée circulairement des deux côtés. Il suffit de déplacer l'un ou l'autre des micas, ou tous les deux à la fois, pour que la lumière soit polarisée elliptiquement, et l'on voit alors les anneaux se déformer [2].

2e SÉRIE. — *Cristaux à pouvoir rotatoire.*

A. *Anneaux du quartz*. — La croix noire ne va pas jusqu'au centre ; en tournant l'analyseur les anneaux s'agrandissent ou se rapetissent suivant le sens de la rotation du quartz.

C. *Spirale d'Airy*. — Placez le Nicol à l'extinction et mettez

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XIII, p. 245.

[2] *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LVII, p. 257.

devant le diaphragme un mica d'un quart d'onde dans l'azimut 45 degrés; les anneaux du spath se déformeront, le premier se transformera en deux spirales qui s'enrouleront (à partir du centre) dans le sens de la rotation du quartz.

C. *Double spirale d'Airy.* — On l'obtient par la superposition de deux quartz de rotations contraires et de même épaisseur. Les quatre branches des spirales s'enroulent (à partir du centre) dans le sens de la rotation du quartz qui est le plus près de l'analyseur.

D. *Quartz singulier.* — Les macles dans le quartz ne sont pas rares, et il en résulte qu'on peut obtenir dans le même cristal des anneaux sans croix, des anneaux avec croix et les doubles spirales d'Airy, soit droites, soit gauches. On obtient, notamment, cette double spirale avec le quartz à deux rotations, en faisant tomber la lumière sur le milieu de la macle, c'est-à-dire de cette partie qui donnait des franges parallèles dans la lumière parallèle (II, 2e série, C).

E. On obtient les phénomènes du quartz avec d'autres cristaux, tels que le cinabre, le sulfate de strychnine, le periodate de soude et les hyposulfates de potasse, de plomb et de strontiane; mais presque tous les échantillons sont trop petits pour la projection.

3e SÉRIE. — *Cristaux obliques.*

Les cristaux obliques isolés ne donnent des franges que dans la lumière homogène (flamme de l'alcool salé) : ce sont des arcs de courbe dont il est souvent impossible de distinguer la nature, mais qui en réalité sont toujours des courbes du second degré, ellipses, paraboles, hyperboles, suivant la taille du cristal, c'est-à-dire suivant l'inclinaison de l'axe.

La lumière homogène est encore nécessaire pour observer les franges des cristaux obliques superposés de manière que leurs sections principales soient parallèles sans que leurs axes le soient. Quand ils ont même épaisseur, ils donnent alors les franges curieuses découvertes par Ohm : 1° des ellipses centrées, quand l'inclinaison de l'axe est moindre que celle qui donnerait des paraboles avec les cristaux isolés; 2° des lignes droites dans ce cas limite; 3° des hyperboles centrées conjuguées, mais non équilatères, si le cristal est plus oblique.

Il n'en est plus de même quand les sections principales des deux

cristaux sont croisées : nous supposerons encore les deux cristaux de même épaisseur. On peut alors observer et projeter leurs franges dans la lumière blanche. Ce sont toujours des hyperboles conjuguées équilatères ; mais ces hyperboles ne sont centrées que quand les cristaux sont parallèles à l'axe. Pour bien voir ces franges, il faut toujours mettre le Nicol à l'extinction et les sections principales des lames dans l'azimut 45 degrés.

A. *Quartz parallèles* croisés. — Hyperboles centrées, conjuguées et équilatères.

B. *Spaths parallèles* croisés. — Les franges sont les mêmes, elles ont souvent plus d'éclat.

C. *Gypses de clivages* croisés. — Les franges sont encore les mêmes, quoique le gypse soit un cristal biaxe. On les obtient donc avec toute espèce de cristaux, pourvu qu'ils soient taillés parallèlement au plan des axes.

D. Les sommets des hyperboles sont toujours dans les deux sections principales des cristaux, et par conséquent leurs asymptotes sont sur les bissectrices de ces sections. Avec notre système de projection, elles sont donc l'une verticale et l'autre horizontale ; mais elles ne seront marquées par une croix noire que si les deux cristaux ont bien exactement la même épaisseur. On peut compenser la différence d'épaisseur et obtenir la croix noire en ajoutant une lame parallèle orientée convenablement, par exemple un mica que l'on fera tourner autour du rayon devant le diaphragme C.

E. *Hyperboles mobiles de Savart.* — On les obtient avec deux quartz parallèles prismatiques glissant l'un sur l'autre, ou plus simplement avec deux quartz parallèles prismatiques C (comme ceux du compensateur de Babinet), collés ensemble, et que l'on fait glisser dans le faisceau lumineux. Dans les deux cas, on trouve toujours une position pour laquelle le rayon traverse les deux quartz sous la même épaisseur, et alors les asymptotes sont marquées par une croix noire.

F. *Quartz obliques croisés, polariscope de Savart.* — Les franges sont des queues d'hyperboles, qui, vues dans une petite étendue, ressemblent à des lignes droites parallèles. Ces lignes sont toujours parallèles à l'une des bissectrices des sections principales. En tournant le système des deux lames, on voit que la frange centrale est noire quand elle est verticale, comme le plan de polarisa-

tion de la lumière incidente. La direction de la frange noire sert donc à reconnaître le plan de polarisation.

4ᵉ SÉRIE. — *Cristaux biaxes perpendiculaires.*

Quand les cristaux biaxes ne sont pas très-bien taillés, il faut un peu tâtonner avec la pince P pour amener leurs franges sur le tableau; mais on y parvient toujours, pourvu que ces cristaux ne soient pas trop minces et que leurs axes ne soient pas trop écartés.

A. *Cristaux perpendiculaires à l'un des axes.* — Les franges sont des anneaux traversés par une ligne noire, qui tourne avec le cristal en restant toujours perpendiculaire au plan des axes. Ces anneaux se distinguent de ceux des uniaxes, non-seulement par l'absence de la croix, mais encore par leurs grandeurs relatives. Ils sont en effet équidistants, c'est-à-dire que leurs rayons croissent comme les nombres naturels 1, 2, 3, 4,..., tandis que les anneaux des uniaxes ont des rayons qui croissent comme les racines carrées des mêmes nombres.

B. *Cristaux perpendiculaires à la ligne moyenne.* — Les franges sont des lemniscates coupées par une hyperbole noire, dont les deux branches passent toujours par leurs pôles, c'est-à-dire par le centre des anneaux qui font partie du système de ces courbes. Elles ont leur maximum d'éclat quand la ligne des pôles est dans l'azimut 45 degrés (le Nicol analyseur est toujours supposé à l'extinction). Dans ce cas, les deux lignes neutres hyperboliques sont équilatères et ont pour axes la ligne des pôles. Si, au contraire, la ligne des pôles est dans l'azimut zéro (ou 90 degrés), les deux lignes neutres forment une croix noire : dans les cristaux à axes peu écartés, les franges ont alors quelque ressemblance avec les anneaux des uniaxes.

C. *Signe des cristaux biaxes.* — Quand la ligne des pôles est dans l'azimut 45 degrés, si l'on place, sur le trajet des rayons lumineux (par exemple, derrière la lentille I), un quartz perpendiculaire, et qu'on le fasse tourner autour d'une ligne parallèle ou perpendiculaire à la ligne des pôles, il y a une des rotations qui produira l'effet que voici : les anneaux qui entourent les pôles s'allongeront, ils finiront par venir se rencontrer au centre du champ, pour former la courbe en 8; puis cette courbe se brisera et

ses deux branches s'écarteront perpendiculairement à la ligne des pôles. Dans ce cas, si l'axe de rotation du quartz est perpendiculaire à la ligne des pôles, de telle sorte que ces deux lignes en se superposant figurent le signe +, le cristal est *positif :* si, au contraire, les deux lignes sont parallèles, de sorte qu'en se superposant elles figurent le signe —, le cristal est *négatif* (¹).

D. *Cristaux maclés*, *aragonite*. — Les macles ne sont pas rares dans les biaxes, et surtout dans l'aragonite. Le système des lemniscates, au lieu d'être simple, peut alors être double ou même triple.

E. *Cristaux croisés*. — Les biaxes perpendiculaires croisés montrent quatre systèmes d'anneaux sur les bords du champ et, vers le centre, des courbes semblables à des hyperboles conjuguées. Exemple : aragonites, micas, topazes, titanites, etc., perpendiculaires à la ligne moyenne et superposés, de manière que les plans des axes soient perpendiculaires entre eux.

F. *Cristaux à axes de diverses couleurs croisés*. — Les mélanges des deux sels de Seignette donnent des cristaux dans lesquels le plan des axes rouges est perpendiculaire à celui des axes bleues. Il en est de même de quelques cristaux naturels, tels que la brookite, la glaubérite, le mellitate d'ammoniaque, etc. Les franges ressemblent aux précédentes. Si la lumière est assez intense, on peut observer avec un verre rouge et avec un verre bleu ; on voit alors les deux systèmes d'axes séparément.

5e SÉRIE. — *Déplacement des axes par la chaleur.*

Ce déplacement s'observe dans plusieurs cristaux, tels que la glaubérite, le feldspath, la kaluszite, le gypse. Dans les deux premiers la chaleur produit un écart des axes; dans le second les axes s'écartent ou se rapprochent ; dans les deux derniers la chaleur rapproche d'abord les axes, puis les écarte ensuite dans un plan perpendiculaire au premier. C'est dans le gypse que le phénomène est le plus brillant.

Les cristaux qui doivent être chauffés sont taillés perpendiculairement à la ligne moyenne et montés sur une lame de cuivre que l'on place dans la pince P. Quand les franges sont projetées, on

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XIII, p. 251.

chauffe l'extrémité de la lame avec une lampe à alcool ; la chaleur se propage de proche en proche jusqu'au cristal, et l'on voit les lemniscates se déplacer sur le tableau. Pour le gypse surtout, il faut prendre garde d'aller trop loin, car la chaleur le rendrait opaque en le transformant en plâtre : on évitera cet inconvénient en enlevant la lampe lorsque les axes seront rapprochés jusqu'au contact ; la chaleur, continuant à se propager dans le cristal, poussera les axes dans un plan perpendiculaire au premier, puis ils reviendront à leur position primitive lorsque le gypse se refroidira.

DESIDERATUM.

On voit que l'appareil Duboscq permet de projeter un très-grand nombre de phénomènes de polarisation : il permet aussi de les observer tous en mettant l'œil à l'analyseur, et tournant le polariseur vers la lumière (1). On peut dire qu'il est complet pour la lumière parallèle et pour la lumière divergente ; mais on est obligé de reconnaître qu'il laisse encore beaucoup à désirer pour la lumière convergente. Sous ce rapport, il est bien inférieur au microscope polarisant ; il se refuse, en effet, à la projection des franges des cristaux trop minces, ou à celle des biaxes dont les axes sont trop écartés. On projette bien le nitre, dont les axes sont écartés de 9° 15′, le carbonate de plomb dont les axes font un angle de 16° 45′, et même encore assez bien l'aragonite dans laquelle l'écart extérieur est de 31 degrés ; mais il est impossible d'aller au delà. Ainsi, 30 degrés à peu près, tel est la convergence du cône de lumière donné par le focus.

Ce n'est pas assez, un grand nombre de phénomènes intéressants ne peuvent être observés que dans les cristaux à axes plus écartés. Je citerai, par exemple, la dispersion des axes de diverses couleurs dans les sels de Seignette, et les trois genres de dispersion caractéristiques des cristaux du système clinorhombique, et dont les trois types sont fournis par le gypse, le feldspath et le borax. La plus brillante des expérienees de l'optique cristallographique, le déplacement des axes du gypse par la chaleur, ne peut être faite

(1) Notons cependant que pour la lumière convergente il faut remplacer les prismes par un polariseur à une seule image, tel qu'une glace noire ou un Nicol.

que très-difficilement avec notre appareil, parce que, les axes de ce cristal étant en dehors du champ, les franges ne peuvent être projetées avant que le gypse ne soit échauffé. Enfin, bien des cristaux, tant uniaxes que biaxes, ne peuvent être obtenus en lames assez épaisses pour donner des franges dans un faisceau si peu convergent.

M. Duboscq a bien essayé de lever la difficulté en adaptant à son appareil le focus et l'objectif du microscope polarisant : cette disposition, convenable pour l'observation individuelle, ne donne pas assez de lumière pour les projections. Il faut renoncer à obtenir un champ aussi considérable que celui du microscope ; mais entre ce champ qui est de 125 degrés et celui de notre appareil qui n'est que de 30 degrés, il y a place pour bien des perfectionnements, et si l'on pouvait seulement doubler le champ de l'appareil de projection, ce serait déjà une amélioration considérable, et elle serait probablement suffisante.

P. S. — Pendant l'impression de cette Note, nous avons à peu près résolu le problème en enlevant la première lentille des deux systèmes du microscope polarisant, et en déplaçant un peu la lentille oculaire : mais il faut polariser avec un Nicol. On peut alors projeter le gypse, dont les axes font un angle de 97 degrés dans l'air, et cependant la lumière est bien suffisante.

SÉANCE DU 22 MAI 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. Deleuil, ingénieur constructeur, est élu membre de la Société.

La parole est donnée à M. Gayon, qui répète sous les yeux de la Société une expérience de M. Gay, destinée à montrer l'énorme dilatation d'un fil de platine lors de son passage de la température ordinaire à la température au rouge vif.

M. Jamin expose ensuite ses recherches sur le magnétisme ; il montre comment il est parvenu à mesurer la quantité totale de magnétisme d'un barreau aimanté. La conclusion à laquelle il est

parvenu peut se résumer en un énoncé très-simple : la quantité totale de magnétisme que peut acquérir un barreau, dans des circonstances données, est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la section centrale du barreau.

La séance est levée à 9 heures et demie.

SÉANCE DU 12 JUIN 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.
Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

MM. West, intendant militaire en retraite; Turrière, professeur de mathématiques au collége de Béziers, sont élus membres de la Société.

La parole est donnée à M. Gréhant, qui met sous les yeux de la Société un petit appareil imaginé par M. Ludwig, permettant de mesurer le débit des vaisseaux sanguins : c'est une espèce de siphon reversible, de capacité donnée, qu'on peut alternativement emplir et vider à l'aide d'un retournement mécanique : l'appareil fonctionne devant la Société.

M. Cornu décrit ensuite un sphéromètre optique, destiné à mesurer spécialement les courbures des surfaces employées en optique : c'est un levier à bascule dont le déplacement angulaire se mesure à l'aide d'un miroir et d'une échelle divisée.

L'avantage de cet instrument est de dispenser les physiciens de l'emploi du sphéromètre, dont le pas de vis est toujours difficile à comparer avec les étalons de longueur, règles, vis de machines à diviser, etc.

A l'occasion de cette communication, M. Mascart explique comment, à l'aide des anneaux colorés monochromatiques, on peut mesurer les courbures très-faibles de lames transparentes, dans le cas où le sphéromètre serait tout à fait en défaut.

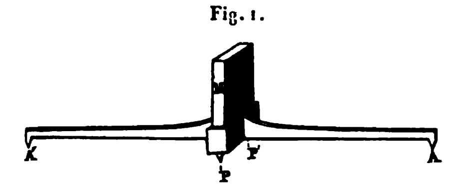
La séance est levée à 9 heures et demie.

Sur le levier à réflexion; par M. A. Cornu.

La nécessité de mesurer de petites longueurs en valeur absolue m'a conduit à employer un dispositif expérimental applicable à une foule de cas; je l'appellerai *levier à réflexion,* et décrirai une de ses applications à la mesure de petites épaisseurs et à celle de la *courbure* des surfaces cylindriques et sphériques : sous cette forme on peut le nommer le *sphéromètre à réflexion.*

Imaginons un fléau de balance (*fig.* 1) reposant sur un couteau

Fig. 1.



ou mieux sur deux pointes P, P′ et présentant à chaque extrémité une pointe A et A′.

Il porte en son milieu un miroir plan parallèle à la ligne des deux pointes PP′ et perpendiculaire à la ligne des deux autres AA′. Il est en équilibre instable lorsque la ligne AA′ est horizontale; on allége la monture centrale de façon que le centre de gravité soit aussi près que possible de l'axe AA′.

Imaginons ce levier placé sur un plan et les quatre pointes réglées de façon à poser à la fois sur la surface d'un plan; plaçons sous les pointes P, P′ une lame à faces parallèles (*fig.* 2), dont on veut connaître l'épaisseur; alors le levier ne portera plus sur les quatre pointes : on pourra le faire basculer autour de l'axe PP′.

Si l'on observe l'angle dont le levier se déplace dans cette rotation (ce qui est très-aisé avec une lunette et une échelle divisée se réfléchissant dans le miroir), on déduira de la longueur du levier l'épaisseur ε qu'on désire obtenir.

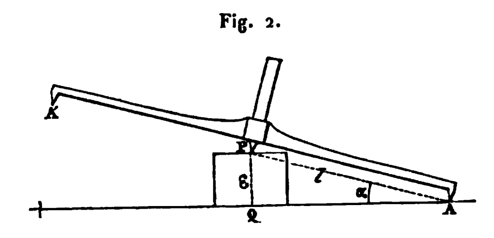
En effet, dans le triangle PAQ, on a

$$\sin \text{PAQ} = \frac{\varepsilon}{l},$$

l étant la demi-longueur du levier.

Le mouvement de bascule double cet angle, et la réflexion double encore une fois, de sorte qu'on observe quatre fois l'angle PAQ.

Fig. 2.



Si l'épaisseur est petite par rapport à la demi-longueur du levier, on pourra remplacer les sinus et tangentes par les arcs, de sorte que l'on pourra écrire

$$\varepsilon = l\alpha,$$

α étant le quart de l'angle mesuré sur l'échelle divisée, c'est-à-dire tel que

$$\frac{n - n'}{4D} = \alpha,$$

n et n' étant les points de division extrêmes visés par la lunette, et D la distance du miroir à l'échelle.

L'observation que nous venons de décrire suppose que les quatre pointes sont dans un même plan : on arrive assez aisément à cette condition en prenant pour AA′ les pointes de deux vis à filet très-petit : avec quelques précautions dans la manœuvre, on arrive à serrer ou desserrer l'une d'elles de façon que le mouvement de bascule devienne de plus en plus petit, lorsque l'appareil est posé sur un plan.

Mais on peut se passer de ce réglage à l'aide d'une observation préliminaire. En effet, supposons que la ligne AA′ soit située au-dessus de l'axe de rotation PP′ à une distance h : lorsqu'on fera basculer le levier sur un plan, on observera un angle de rotation α_0, tel que

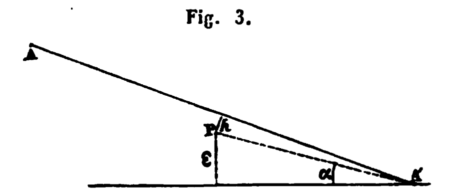
$$\sin\alpha_0 = \frac{h}{l} \quad \text{ou simplement} \quad \alpha_0 = \frac{h}{l},$$

d'où l'on conclura la quantité h.

Si maintenant on veut mesurer une autre épaisseur ε (*fig.* 3),

le déplacement angulaire du levier correspondra à la somme de l'angle α_0 et de l'angle α, qu'on aurait mesuré si h était nul.

Fig. 3.



On retranchera donc de la différence des lectures faites sur l'échelle divisée $n - n'$, lors de la mesure de l'épaisseur cherchée, la différence $n_0 - n'_0$, faite lors de l'observation initiale du levier seul; on aura alors

$$\varepsilon = l \times \frac{(n - n') - (n_0 - n'_0)}{4D}.$$

Ce dispositif a sur le sphéromètre ordinaire l'avantage d'une simplicité telle, que chacun peut aisément le construire de ses mains. Cet avantage, déjà fort important, n'est pas le principal. Le levier à réflexion a surtout pour but de permettre les *mesures absolues,* c'est-à-dire rapportées à l'unité de longueur vraie. Or l'unité de longueur est donnée soit par une règle étalonnée, soit par une machine à diviser. Comme le pas de la vis d'une telle machine est rarement métrique, on parvient, à l'aide d'un microscope placé sur le chariot de la machine, à déterminer la valeur métrique du pas de la vis, à l'aide d'une règle auxiliaire: ces deux instruments, règle et machine, sont donc équivalents.

Mais un sphéromètre à vis est excessivement difficile à comparer avec une machine à diviser ou avec une règle; en tout cas, les modes de comparaison usités jusqu'à ce jour sont très-indirects; si bien qu'en général on se contente de l'affirmation du constructeur pour la valeur du pas de la vis du sphéromètre, ce qui conduit quelquefois à des erreurs de 1 pour 100 et au delà pour la valeur absolue des quantités qu'on mesure.

Le levier à réflexion n'est point sujet à ces causes d'erreur.

La longueur $2l$ des deux pointes se détermine avec une machine à diviser, à $\frac{1}{100}$ de millimètre près : si $2l = 100^{mm}$ environ, on a une précision relative de $\frac{1}{10000}$. Comme le pas de la vis a pu être comparé à une bonne règle, la mesure réduite de $2l$ est absolue.

Il ne reste plus qu'à tracer ou à mesurer avec la même machine les traits de l'échelle divisée qu'on emploiera et à vérifier, toujours avec la même machine à diviser, la règle avec laquelle on mesurera D, distance de l'échelle au plan de réflexion.

En général, il suffira de prendre $D = 1$ à 2 mètres; l'approximation de D sera d'au moins $\frac{1}{2}$ millimètre, c'est-à-dire $\frac{1}{2000}$ pour 1 mètre et $\frac{1}{4000}$ pour 2 mètres.

Quant à $n - n'$, comme on estime avec une bonne lunette $\frac{1}{10}$ de millimètre, il suffira de s'arranger de manière à avoir $n - n' > 100^{mm}$ pour avoir le millième comme erreur relative.

En résumé, il sera donc aisé d'obtenir une précision voisine du millième sur l'ensemble des opérations, ce qu'on est loin d'atteindre avec les sphéromètres.

Le levier à réflexion est surtout utile pour la mesure des courbures, et spécialement en Optique, dans le cas de la mesure des éléments géométriques des lentilles, objectifs, miroirs, etc.

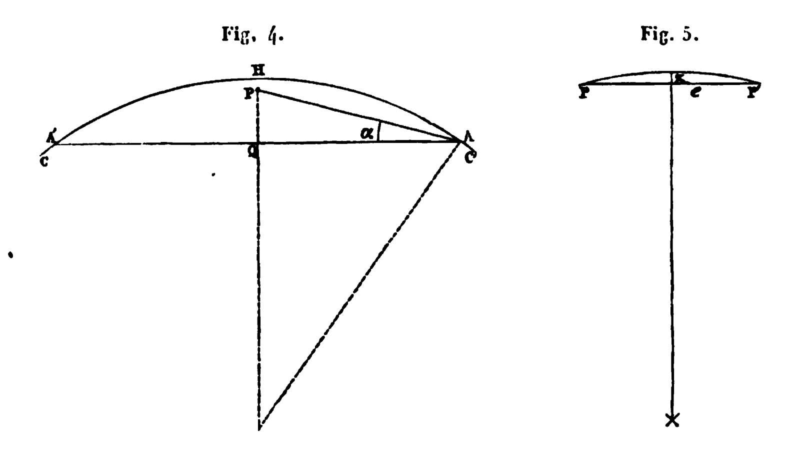


Fig. 4. Fig. 5.

Prenons le cas le plus général d'une courbure sphérique à mesurer (*fig.* 4). Le mouvement de rotation du levier posé sur la surface à mesurer s'effectue autour de la ligne passant par les deux pointes. On détermine donc ainsi la flèche de l'arc compris entre les points touchés par les points A, A'.

Rigoureusement parlant, ce n'est pas cette flèche que l'on détermine, mais cette flèche diminuée de la flèche de l'arc transversal compris entre les deux pointes P, P'. Comme les pointes ne sont

écartées que de la quantité nécessaire à la stabilité du levier, la correction très-petite qu'elle nécessite (les flèches varient comme le carré des arcs) se fait à l'aide de la valeur approchée de la courbure.

Soit α l'angle PAA′; la flèche $f = PQ$ définie par cet angle est donnée par la formule

$$f = l \sin \alpha.$$

Le rayon ρ du cercle passant par les trois points A, P, A′ satisfait à la condition

$$l^2 = f \times 2\rho,$$

et le vrai rayon de courbure R passant par les points A, A′, H à celle-ci :

$$\overline{AQ}^2 = l^2 - f^2 = HQ \times (2R - HQ),$$

formule dans laquelle on a $HQ = f + z$, z étant la petite flèche produite par l'écartement $2e$ des pointes P, P′.

Donc on a aussi (*fig.* 5)

$$e^2 = z \times (2R - z) = 2Rz \text{ approximativement.}$$

On peut, comme z est excessivement petit, se contenter de la valeur approchée ρ du rayon R,

$$\rho = \frac{l^2}{2f},$$

d'où

$$z = \frac{e^2}{2R} = \frac{e^2}{2\rho} = \frac{e^2}{l^2} f.$$

Substituant dans $\overline{AQ}^2$, il vient

$$l^2 - f^2 = (f + z)[2R - (f + z)],$$

d'où

$$2R = \frac{l^2 - f^2}{f\left(1 + \frac{e^2}{l^2}\right)} + f\left(1 + \frac{e^2}{l^2}\right).$$

Or on peut prendre aisément

$$\frac{e}{l} = 0{,}1, \quad \frac{e^2}{l^2} = 0{,}01 \quad \text{et} \quad \frac{e^4}{l^4} = 0{,}0001,$$

qu'on peut négliger; de plus $\frac{f}{l}$ est également très-petit : on peut donc négliger le produit $\frac{f^2 e^2}{l^4}$; développant en série le dénominateur, il vient, après avoir supprimé les termes négligeables,

$$2R = \frac{l^2}{f}\left(1 - \frac{e^2}{l^2}\right).$$

Substituant la valeur de f,

$$R = \frac{l^2\left(1 - \frac{e^2}{l^2}\right)}{l \sin\alpha}, \quad \text{ou approximativement} \quad \frac{l}{\alpha}\left(1 - \frac{e^2}{l^2}\right),$$

α étant toujours le quart de l'angle observé sur la surface courbe, diminué de l'angle observé sur un plan.

Si l'angle α était un peu notable, il vaudrait mieux le calculer, avec la Table de logarithmes, par la formule

$$2 \tan 2\alpha = \frac{n - n'}{D},$$

qu'on trouve aisément d'après la condition que l'échelle est normale au rayon visuel lorsque le levier est dans la position moyenne.

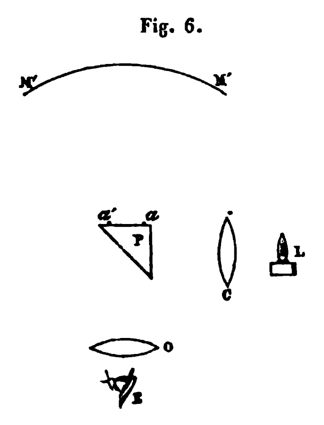
Pour s'habituer à l'usage du levier à réflexion, il est bon de l'employer à la mesure de la courbure d'un miroir concave, par exemple de la surface concave d'une lentille divergente. On a, en effet, une vérification très-délicate pour la mesure optique du rayon de courbure : on répète les observations jusqu'à ce qu'on obtienne la concordance des deux valeurs.

La détermination optique du rayon de courbure de la surface concave s'obtient aisément de la façon suivante : on dispose (*fig.* 6) un petit prisme hypoténuse P, de façon à renvoyer sur toute la surface du miroir MM′ la lumière d'une lampe monochromatique (alcool salé), rendue convergente sur la face aa' par une lentille C.

On colle avec un peu de cire un fil métallique d'environ $\frac{1}{4}$ de millimètre de diamètre sur la face aa' en a, de façon que ce fil, parallèle aux arêtes, dépasse de 4 à 5 millimètres la surface horizontale du prisme. Après quelques tâtonnements, on arrive aisément à recevoir l'image conjuguée de la face a' du prisme au-dessus

de ce prisme et dans le plan de cette face. On aperçoit alors l'image du fil a' qui se projette sur l'image éclairée de la face du prisme et aussi le prolongement du fil a qui se détache sur le même fond brillant.

Fig. 6.



Avec un oculaire (qui n'a pas besoin d'être achromatique) d'autant plus puissant que le miroir concave sera plus parfait, on pourra observer le fil et son image côte à côte et régler la distance au miroir, de telle façon qu'ils soient bien dans un même plan perpendiculaire à l'axe principal du miroir.

Il suffit alors de mesurer la distance du centre du miroir au plan commun des deux images pour avoir le rayon de courbure cherché.

Pour les commodités et la précision de l'expérience, le prisme P, la lentille C, la lampe L et l'oculaire O doivent être disposés sur un même support qui glissera dans une coulisse dirigée suivant l'axe du miroir ([1]).

([1]) La mesure absolue du rayon de courbure est fondée sur l'observation initiale du levier posé sur un plan parfait : il faut donc être assuré que cette dernière surface remplit cette condition ou au moins connaître cette courbure. Pour effectuer cette vérification, la méthode optique suivante est très-délicate. On choisit pour plan une lame de glace polie et l'on observe par réflexion sur sa surface l'image d'un objet éloigné ou la fente d'un collimateur, à l'aide d'une bonne lunette. Si l'on n'est pas obligé de modifier le tirage de la lunette pour voir l'objet directement et par réflexion, et surtout si l'image de cet objet est également nette sous toutes les incidences, la surface est suffisamment plane. Si l'image perd sa netteté, il faut rejeter la lame ou chercher si, dans certains azimuts de réflexion, la netteté des lignes perpendiculaires au plan d'incidence ne se conserve pas. Il arrive presque toujours qu'un de ces azimuts donne une image

Le levier optique se prête à une foule d'autres applications ; l'une des plus utiles est la mesure de la flèche des flexions des corps élastiques.

Je suis parvenu avec ce dispositif à estimer de semblables mouvements d'une petitesse comparable aux longueurs d'onde de la lumière : il suffit de diminuer suffisamment la longueur du bras de levier et d'augmenter à la fois la puissance de la lunette et la distance de l'échelle divisée. Au point de vue de la délicatesse, comme de la précision, l'appareil ne laisse donc rien à désirer ; toutefois il ne faudrait pas se faire illusion sur les conditions géométriques de l'instrument et croire qu'on peut avoir à la fois l'extrême précision et l'extrême délicatesse : il y a là une question d'erreurs relatives facile à apprécier. En raccourcissant le levier, on perd en précision ce qu'on gagne en sensibilité.

SÉANCE DU 26 JUIN 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

MM. Salet, Redier, constructeurs, et Levy, chef d'institution, sont élus membres de la Société.

M. Marcel Deprez expose ses recherches sur l'emploi de l'étincelle d'induction et des électro-aimants dans les mesures chronographiques. Il résulte de ses recherches que les électro-aimants ont une supériorité incontestable au point de vue de la constance et de la régularité des signaux.

---

suffisante en modifiant le tirage ; on peut alors tirer parti de cette lame en calculant sa courbure suivant le plan de réflexion. En effet, d'après la théorie des caustiques, on sait que la distance focale des rayons parallèles, après réflexion sous une incidence i, est égale à $\delta = \frac{1}{2} R \cos i$, R étant le rayon de courbure de la surface dans le plan de réflexion ; on observe le *dépointement* ou variation de tirage de la lunette, on en conclut δ, d'où $R = \frac{2\delta}{\cos i}$. En augmentant l'angle d'incidence, on multiplie, pour ainsi dire, la courbure autant qu'on le veut par le facteur $\frac{1}{\cos i}$.

M. Deprez décrit divers dispositifs nouveaux, destinés à diminuer l'inertie des armatures; le point le plus saillant de ses recherches est la constatation précise de la constante du temps nécessaire à la désaimantation des électro-aimants. L'auteur fait ensuite fonctionner, sous les yeux de la Société, un appareil enregistreur qui réalise l'application des principes exposés plus haut.

La parole est ensuite donnée à M. Niaudet-Bréguet, qui décrit devant la société une horloge dont l'échappement est produit par un diapason faisant cent vibrations par seconde. La difficulté qu'il a fallu surmonter a été spécialement celle relative à la fixité absolue du diapason. La régularité de cette horloge est satisfaisante : elle réalise parfaitement le mouvement uniforme.

La séance est levée à 10 heures.

Recherches sur l'étincelle d'induction et les électro-aimants. Application aux chronographes électriques; par M. Marcel Deprez.

Ayant été chargé par l'Inspection générale de l'Artillerie de la marine d'étudier les moyens d'appliquer l'électricité à l'enregistrement des phases successives d'un phénomène très-rapide, tel que le trajet d'un projectile dans l'âme d'une bouche à feu, j'ai dû faire un examen comparatif des procédés existants. Ces procédés sont fondés sur trois propriétés différentes des courants électriques : l'aimantation du fer doux, les décompositions électrochimiques et la production d'étincelles au moyen de courants induits. Je vais passer rapidement en revue les avantages et les inconvenients respectifs de chacun de ces procédés, et terminer par l'exposé de mes recherches personnelles sur les enregistreurs éléctromagnétiques.

1° *Emploi des électro-aimants.* — Les premiers chronographes électriques (Wheatstone, Constantinoff, etc.) possédaient comme organe enregistreur un électro-aimant dont l'attraction, au moment de la fermeture du courant, mettait en mouvement un style appuyé contre un cylindre enduit de noir de fumée. Dans les chronoscopes Navez, Le Boulengé, etc., on n'emploie que la rupture du courant. Les inconvénients inhérents à l'usage des électro-aimants tels qu'on les a employés jusqu'à présent sont : le magnétisme ré-

manent, la lenteur de leur désaimantation et surtout de leur aimantation, et, par suite, le retard de leur indication, retard qui est variable avec l'intensité du courant; enfin la faible vitesse imprimée aux styles traceurs ne permet pas d'imprimer au cylindre sur lequel se fait l'enregistrement la vitesse considérable qui est exigée dans les expériences de balistique intérieure où l'on doit pouvoir mesurer avec certitude le $\frac{1}{100000}$ de seconde. Ce sont ces inconvénients qui ont fait abandonner les chronographes de Constantinoff, Martin de Brettes, Glasner et Regnault.

2° *Emploi des propriétés chimiques du courant.* — On sait que le passage du courant à travers un style de fer, appuyé contre une feuille de papier humide imbibée de cyanure de potassium, détermine à la surface du papier la production d'un trait bleu qui cesse dès que le courant est interrompu. En faisant varier la composition des substances dont le papier est imbibé, ainsi que la nature de l'électrode, on peut obtenir des traces de différentes couleurs. Cette propriété des courants a été employée dans plusieurs télégraphes, et en particulier dans les télégraphes autographiques; mais elle a l'inconvénient d'exiger un courant de grande tension et un papier dont le degré d'humidité soit toujours le même. En effet, quand il n'est pas assez humide, le courant est trop affaibli; quand, au contraire, il est trop humide, il se déchire, et en outre les traces deviennent étalées et diffuses. Enfin l'électrode servant de style conserve à sa surface, pendant le passage du courant, une couche de matière colorante qui continue à tacher le papier même quand le courant est rompu. Ces inconvénients, peu importants pour la télégraphie, deviennent très-graves dans un chronographe, où les traces doivent toujours être d'une grande netteté. Aussi l'emploi des propriétés chimiques du courant, qui avait paru d'abord résoudre la question (M. du Moncel a construit un chronographe de ce genre), a-t-il été abandonné, non-seulement dans les chronographes, mais aussi dans les télégraphes.

3° *Emploi de l'étincelle d'induction.* — L'étincelle d'induction jaillissant contre un cylindre argenté enduit de noir de fumée laisse à la surface une auréole au centre de laquelle se trouve un point brillant extrêmement petit et que l'on peut pointer avec une grande précision. J'ai essayé de mesurer le retard de l'étincelle par le procédé qui sera décrit dans le prochain paragraphe, et j'ai trouvé que

ce retard est inférieur à $\frac{1}{10000}$ de seconde. Quand la distance explosive est très-petite ($\frac{1}{4}$ de millimètre par exemple), ce retard devient tout à fait inappréciable, parce qu'il se confond avec les déviations de l'étincelle. En effet, cette dernière ne suit pas, pour aller frapper le cylindre, le chemin qui est géométriquement le plus court, mais bien celui qui est *électriquement* le plus court, c'est-à-dire le chemin de moindre résistance. De là des déviations qui ne sont pas négligeables, et dont le sens et la grandeur ne sauraient être prévus.

Un autre inconvénient de l'étincelle est d'être souvent suivie d'une foule de petites étincelles parasites formant comme une queue; ces étincelles prouvent que la décharge du fil induit n'est pas instantanée. Il résulte de là que, si l'on voulait mesurer la durée d'un phénomène très-court dont l'origine et la fin devraient être indiquées par deux étincelles distinctes jaillissant du même fil, la deuxième étincelle pourrait être confondue avec les étincelles parasites accompagnant la première. Il arrive même souvent que le trait de feu produisant l'étincelle principale se divise en deux ou trois autres traits produisant chacun une trace sur le cylindre, de sorte qu'on ne sait absolument lequel choisir. Ces inconvénients, déjà observés depuis longtemps, sont bien plus graves encore lorsque le cylindre est recouvert d'une feuille de papier enfumé destinée à conserver la trace des expériences. J'ai constaté, en effet, que, même lorsqu'on amène le fil d'où jaillit l'étincelle *au contact* du papier, de façon à en faire un véritable style frottant, l'étincelle n'éclate pas au point de contact, mais bien à une distance de ce point qui varie capricieusement d'un moment à l'autre et qui peut atteindre $\frac{1}{2}$ millimètre.

Comme je l'ai déjà dit, le retard de l'étincelle, c'est-à-dire l'intervalle de temps qui s'écoule entre le moment où le courant inducteur est rompu et le moment où l'étincelle éclate, est généralement inférieur à $\frac{1}{10000}$ de seconde. Il ne faudrait pas conclure de là que l'on puisse produire 10 000 étincelles par seconde, car le temps pendant lequel le courant inducteur doit être fermé pour que la rupture produise un courant induit de tension suffisante est très-supérieur à $\frac{1}{10000}$ de seconde. Toutes les personnes qui se sont servies de la bobine de Ruhmkorff savent que, lorsque les interruptions du courant deviennent très-rapides, les étincelles deviennent de plus en

plus petites et finissent par ne plus éclater. En faisant passer le courant inducteur produit par trois éléments Bunsen dans un diapason de 250 périodes par seconde, j'ai pu obtenir également 250 étincelles; mais elles étaient fort petites, et il n'est pas probable que ce nombre puisse être dépassé de beaucoup, à moins d'augmenter considérablement la force de la pile. On peut faire, d'ailleurs, une expérience frappante qui montre nettement que la production de l'étincelle exige un courant inducteur d'une durée appréciable. En effet, si l'on attache aux masses métalliques de deux marteaux d'acier les extrémités du fil inducteur, coupé pour cela en un point quelconque de sa longueur, et si l'on vient à les frapper l'un contre l'autre, le courant sera fermé par suite du choc; mais, quelque violent que soit ce dernier, aucune étincelle ne jaillira. Cette expérience prouve que la durée du choc est inférieure au temps pendant lequel le courant inducteur doit passer pour que sa rupture produise une étincelle. Il est bien évident, d'ailleurs, que ce temps est d'autant plus petit que la pile est plus forte; mais on serait conduit, pour obtenir des étincelles se succédant à $\frac{1}{10000}$ de seconde d'intervalle, à employer une pile extrêmement puissante. Aussi tous les expérimentateurs qui ont voulu appliquer la bobine d'induction à l'enregistrement de phénomènes extrêmement rapides ont-ils employé un nombre de bobines égal au nombre de signaux qu'ils voulaient obtenir. Dans le chronographe construit sur les plans du capitaine Noble pour des recherches de balistique intérieure, le nombre des bobines est de huit, chacune d'elles donnant un signal indépendant quand le projectile passe devant un point de l'âme déterminé. Cela entraîne nécessairement l'usage de huit piles indépendantes. J'ajouterai que la production de l'étincelle est un phénomène capricieux qui dépend beaucoup de la manière dont la rupture est faite.

SÉANCE DU 10 JUILLET 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

M. Cazin expose ses recherches sur la période variable des courants voltaïques.

M. Bichat montre comment on peut, au moyen de la bobine de Ruhmkorff, transformer l'électricité statique en électricité dynamique.

M. Mercadier fait une communication sur la chronographie électrique.

Sur la transformation de l'électricité statique en électricité dynamique; par M. Bichat.

On sait que, si, dans le gros fil de la bobine de Ruhmkorff, on fait passer le courant d'une pile successivement interrompu et rétabli, on recueille dans le fil fin deux courants induits de sens contraires. Pour une certaine distance explosible, il *semble* qu'il n'y ait qu'un seul courant produit. Ce courant est *direct*, c'est-à-dire de même sens que le courant inducteur, et les étincelles produites par le passage de ce courant à travers l'air ont tout à fait l'apparence d'étincelles d'électricité statique. Par l'intermédiaire de la bobine, on a effectué une véritable transformation d'électricité dynamique en électricité statique.

Réciproquement, cette même bobine peut servir à la transformation de l'électricité statique en électricité dynamique. C'est ce que l'on peut constater expérimentalement de la façon suivante.

On met en communication les extrémités du fil fin d'une bobine de Ruhmkorff avec les pôles d'une machine de Holtz. Sur le trajet on place un excitateur muni de deux boules, dont la distance, toujours très-faible d'ailleurs, peut être augmentée ou diminuée à volonté. De cette façon, on fait passer, dans un sens déterminé, une série d'étincelles d'électricité statique dans le fil fin de la bobine. On recueille alors dans le gros fil des courants tout à fait analogues à ceux fournis par la pile. Si l'on fait arriver ces courants à un petit voltamètre contenant de l'eau acidulée, on obtient d'un côté de l'oxygène et de l'autre de l'hydrogène presque purs. Si, à la place de l'eau acidulée, on met du sulfate de cuivre, on

reconnaît que, à l'une des électrodes seulement, il se dépose du cuivre métallique.

En étudiant ainsi le sens du courant au moyen d'un voltamètre, on constate qu'il n'y a qu'un seul courant mis en évidence, et que ce courant est inverse, c'est-à-dire de même sens que celui de la machine de Holtz. On peut aussi, pour se rendre compte du sens du courant, utiliser le phénomène de la polarisation des électrodes, phénomène qui fut d'un si grand secours à Verdet dans ses recherches sur l'induction produite par l'électricité statique; seulement, dans le cas qui nous occupe, il est bon de remplacer la dissolution d'iodure de potassium, dont se servait Verdet, par de l'eau simplement acidulée.

En résumé, la méthode que nous venons d'indiquer permet de transformer l'étincelle produite par la machine de Holtz en un courant tout à fait identique, au point de vue de ses effets, avec celui de la pile.

En partant des lois connues de l'induction, il est facile d'expliquer ce qui se passe dans l'expérience précédente.

Théoriquement, on devait s'attendre à trouver dans le gros fil deux courants induits, l'un direct, l'autre inverse, égaux en quantité et inégaux en tension. Bien que l'un d'eux seulement soit mis en évidence dans l'expérience que nous avons rapportée, il est possible de constater l'existence du second en employant une méthode analogue à celle qui a été utilisée par Verdet dans ses recherches sur l'induction statique. Si le courant inverse paraît seul se produire, cela tient encore, comme dans le cas où la bobine fonctionne à la façon ordinaire, à la différence de tension des deux courants. Comme dans ce cas encore, les effets sont considérablement augmentés si l'on introduit un barreau de fer doux dans l'intérieur de la bobine, et mieux encore si l'on remplace le barreau de fer doux par un faisceau de fil de fer doux.

Si, dans l'expérience qui nous occupe, la production apparente d'un courant induit inverse unique tient réellement, comme nous venons de le dire, à la différence de tension des deux courants, on devra voir les effets produits diminuer d'intensité si, par un moyen quelconque, on parvient à diminuer la tension du courant direct. C'est ce que l'on peut faire au moyen de diaphragmes. Si l'on entoure en effet le faisceau de fils de fer doux de la bobine d'un

tube de cuivre continu, le courant produit, étudié, par exemple, au moyen de la polarisation des électrodes du voltamètre, donne une déviation galvanométrique presque nulle. Cette déviation devient au contraire extrêmement considérable, si l'on remplace le tube de cuivre continu par un autre tube de cuivre fendu suivant l'une de ses arêtes, c'est-à-dire si on laisse subsister la différence de tension qui existe naturellement entre les deux courants induits direct et inverse.

Au lieu de produire les étincelles d'électricité statique au moyen d'une machine de Holtz, on peut les produire au moyen d'une seconde bobine de Ruhmkorff. Le gros fil de cette seconde bobine est mis en communication avec les extrémités du fil fin de la première. Sur le trajet se trouve un excitateur. Au moyen de cet excitateur, on peut facilement éliminer le courant inverse, et l'on est alors tout à fait dans les mêmes conditions que lorsque l'on se sert de la machine de Holtz. On peut aussi fermer complétement l'excitateur et lancer ainsi dans le fil fin de la bobine en expérience les deux courants induits direct et inverse. Dans ce dernier cas, la décomposition de l'eau dans le voltamètre est aussi énergique, et elle est toujours polaire, ce qui devait arriver si l'explication donnée du phénomène est exacte. On a, en effet, dans cette expérience les courants induits développés par les fils seuls, plus ceux qui résultent de l'aimantation du fer. Les premiers sont à peu près incapables de décomposer l'eau d'une façon apparente. Les seconds seuls produisent le dégagement d'hydrogène et d'oxygène que l'on observe. Or ces courants induits produits par une *aimantation directe qui augmente* sont toujours inverses : ce sont les seuls mis en évidence. Il est donc tout naturel que l'on trouve encore les gaz constituant l'eau bien nettement séparés. L'expérience faite sous cette seconde forme est peut-être plus intéressante. Elle nous montre, en effet, le courant d'une pile transformé en étincelles d'électricité statique, et, plus loin, ces mêmes étincelles d'électricité statique transformées en un courant produisant des effets tout à fait analogues à ceux qui eussent été produits directement par la pile servant à exciter la première bobine.

SÉANCE DU 4 DÉCEMBRE 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures précises.

On procède au tirage au sort des membres sortant du Conseil. Parmi les membres résidants le sort désigne :

MM. Edm. Becquerel,
Cazin,
Fernet.

Parmi les membres non résidants :

MM. Gripon,
Duclaux,
Lallemand,
Terquem.

M. Boudréaux expose ensuite une méthode expérimentale pour obtenir le renversement des raies des spectres métalliques : elle consiste dans l'emploi de divers chlorates alcalins, alcalino-terreux ou métalliques servant à activer la combustion d'une matière résineuse; le mélange donne naissance à une fumée très-chargée de vapeur métallique à travers laquelle on fait passer une lumière vive venant du Soleil ou d'une lampe électrique. Les raies brillantes de la vapeur métallique donnent alors naissance par contraste à des raies sombres.

M. Mascart exécute ensuite devant la Société diverses expériences sur la composition des couleurs spectrales et sur l'interférence produite par deux spaths épais.

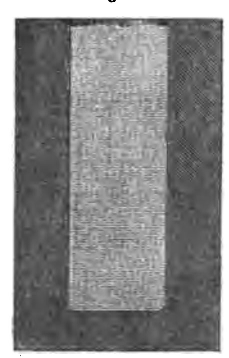
La séance est levée à 9 heures et demie.

Procédé pour obtenir en projection les raies des métaux et leur renversement; par M. Boudréaux.

I. *Projection des raies des métaux.* — Les méthodes qui ont été proposées pour projeter les raies des métaux exigent l'emploi du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène ou la lumière électrique. Je crois avoir simplifié l'expérimentation en prenant comme sources de lumière des feux analogues à ceux des artificiers et formés par la combustion d'un mélange intime et récemment préparé de 6 grammes de chlorate avec 1 gramme environ de gomme laque en poudre.

Veut-on projeter les raies du strontium, par exemple, on introduit et l'on tasse dans des creusets de charbon, dont la *fig.* 1 re-

Fig. 1.

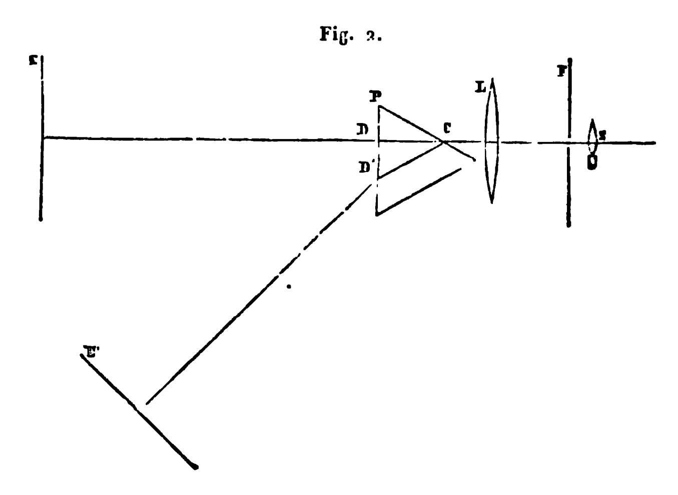


présente un modèle en grandeur naturelle, le mélange de chlorate de strontium et de gomme laque, mélange qu'on peut enflammer avec une allumette présentant un point en ignition. Une combustion très-vive en résulte, accompagnée d'une lumière très-riche en vapeurs métalliques incandescentes qu'on dirige sur une fente étroite, qu'elle traverse pour tomber d'abord sur une lentille, puis sur un prisme, et enfin sur un écran où se peint un spectre présentant les raies particulières au strontium, c'est-à-dire cinq belles raies rouges et une raie verte. Le baryum donne de la même manière trois raies vertes, le calcium deux raies rouge et une verte, le sodium une raie jaune.

Quant au spectre en question, on l'obtient par un procédé que

je vais rappeler et qui est bien connu dans les cabinets de Physique. On place la fente étroite et verticale F (*fig.* 2) à 15 centi-

Fig. 2.



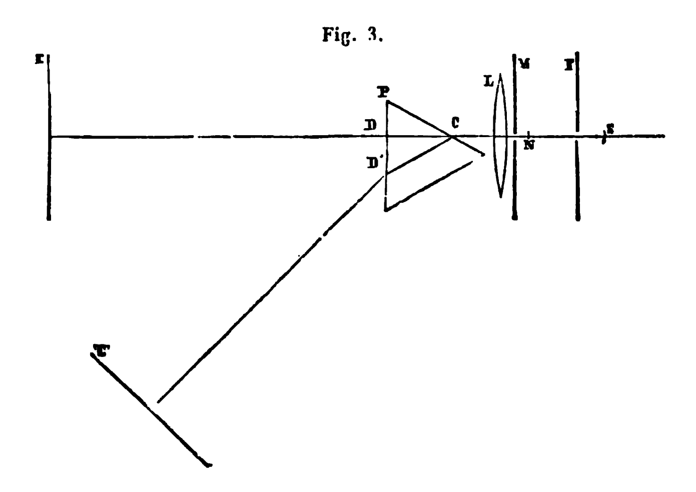
mètres environ de la source S; puis, un écran étant placé en E à quelques mètres de F, on place la lentille de projection L entre F et E, de manière à produire en E une image très-nette de F. Il ne reste plus qu'à placer près de la lentille le prisme P dans la position du minimum de déviation, de sorte que ses arêtes soient verticales, et à déplacer l'écran E en E' dans la nouvelle direction des rayons lumineux déviés, tout en le maintenant à peu près à la même distance de L. En E' on voit alors un spectre très-pur, continu ou discontinu, selon la nature de la source S. Il est clair d'ailleurs que la direction de la flamme qui éclaire la fente verticale doit être elle-même verticale; dans la figure théorique ci-jointe, elle est figurée horizontale : il n'a pas été possible de la figurer autrement. La même observation, qui s'applique aussi, pour la flamme et pour l'écran K qui la couvre, à la *fig.* 4, devra être prise en considération lorsqu'on voudra répéter l'expérience.

Il est avantageux, dans ces sortes d'expériences, de placer la source lumineuse dans la lanterne de M. Duboscq et d'en augmenter l'intensité par l'emploi simultané de deux ou trois de nos creusets, et j'ai trouvé très-commode l'emploi du prisme à grande dispersion du spectroscope à vision directe, prisme que, dans les expériences précédentes, on place de préférence au foyer des rayons parallèles pour

éviter les pertes de lumière, car ces prismes, ordinairement, n'ont pas une section bien considérable.

II. *Comment on obtient en projection le renversement de la raie du sodium.* — Un spectre pur ayant été produit par le procédé indiqué au numéro précédent, en prenant comme source S (*fig.* 3) la

Fig. 3.



lumière de Drummond, on place entre L et F et près de L un morceau de sodium N, qu'on enflamme avec la précaution que la lumière incidente traverse les vapeurs absorbantes du sodium; on trouve sur l'écran E' et dans le jaune une ligne noire de renversement occupant exactement la place de la raie brillante jaune, particulière au sodium. C'est ainsi qu'actuellement l'expérience est faite dans les cours.

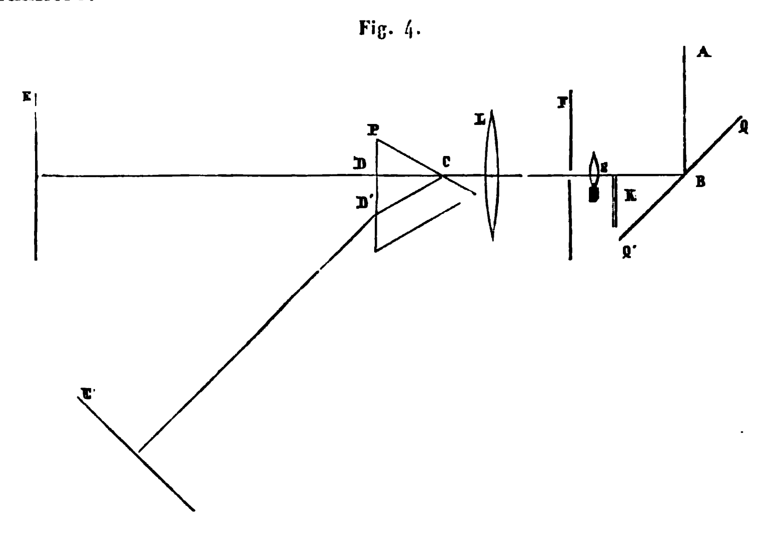
Une fente M, large de 2 centimètres et appliquée contre la lentille, donne plus de netteté au phénomène.

III. *Renversement des raies de divers métaux.* — On doit évidemment, par un procédé analogue, pouvoir renverser les raies des métaux autres que le sodium, et j'y suis arrivé en prenant comme vapeurs absorbantes celles fournies par les mélanges déjà employés précédemment pour la production des raies brillantes des métaux.

Ainsi le strontium donne cinq raies noires de renversement, le calcium trois, le baryum trois, le sodium une seule. J'ai opéré en

prenant comme source de lumière les rayons parallèles du Soleil: la masse de vapeurs métalliques absorbantes était placée près de F (*fig.* 4) entre L et F, et mieux en S entre F et le miroir du porte-lumière.

Fig. 4.



Dans l'appareil que j'ai employé, les vapeurs absorbantes étaient fournies par deux ou trois petits creusets placés en S à l'intérieur d'une lanterne portant la fente F et munie d'une cheminée ayant un bon tirage.

IV. *Concordance des raies brillantes et des raies de renversement d'un même métal.* — Pour bien montrer que les raies de renversement d'un métal occupent exactement la place de ses raies brillantes, on emploie la disposition suivante : on fait en sorte que les rayons solaires incidents n'éclairent que la moitié supérieure, par exemple, de la longueur de la fente F, supposée verticale, ce qu'on obtiendra facilement par l'interposition d'un petit écran K (*fig.* 4) entre les creusets et le miroir du porte-lumière; par ce moyen, on aura sur l'écran E′ un nouveau spectre solaire moitié moins large que le premier. Si maintenant, les rayons solaires étant supprimés, on vient à enflammer le mélange des creusets, on aura en E′ un spectre discontinu, ayant même largeur que le premier, et dont une partie recouvre exactement la portion de l'écran occupée tout à l'heure par le second spectre solaire. Par

suite, si l'on fait agir à la fois les rayons solaires et les feux absorbants, on verra en E' un spectre à raies brillantes, provenant précisément de la partie inférieure de la fente, éclairée seulement par la lumière métallique, et au-dessous le spectre solaire sillonné de raies noires, exactement dans le prolongement des raies brillantes.

Pour répéter l'expérience, on doit se rappeler que la flamme S est, ainsi que nous l'avons dit plus haut (I), figurée à angle droit de sa position réelle.

SÉANCE DU 18 DÉCEMBRE 1874.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

MM. Mouton, préparateur de Physique à l'École Normale, Bichat, professeur au Lycée de Versailles, et le Docteur Alban Fournier sont nommés membres de la Société.

La parole est ensuite donnée à M. Cornu qui expose devant la Société les modèles des appareils qu'il a employés dans ses expériences sur la vitesse de la lumière entre l'Observatoire et Montlhéry.

Il décrit spécialement l'enregistreur et le chronographe qui permet de subdiviser la seconde d'une pendule astronomique en dix parties égales, en empruntant à l'horloge, par une transmission électrique, la force nécessaire pour entretenir le mouvement et assurer indéfiniment l'isochronisme, le synchronisme du subdiviseur.

M. Cornu décrit ensuite sommairement la méthode d'observation et de calcul ainsi que les principales difficultés qu'il a fallu lever pour installer et faire fonctionner les appareils. Le résultat de ces expériences donne pour la vitesse de la lumière un nombre V = 300 400 kilomètres à la seconde de temps moyen : l'erreur probable ne dépasse pas un millième en valeur relative.

La séance est levée à 9 heures et demie.

Détermination de la vitesse de la lumière et de la parallaxe du Soleil; par M. A. Cornu.

J'ai déjà exposé divers perfectionnements relatifs à la méthode imaginée en 1849, par M. Fizeau, pour la détermination de la vitesse de la lumière. Ces perfectionnements sont tous de deux sortes : l'un a trait à la méthode d'observation qui consiste à observer, non pas l'annulation complète de l'intensité de la lumière de retour, mais deux couples d'intensités égales de part et d'autre de l'extinction; l'autre est l'enregistrement électrique de la loi du mouvement de la roue dentée. Ces perfectionnements, expérimentés sur une distance modérée (10310 mètres entre l'École Polytechnique et le Mont-Valérien, $V = 298500^{km}$, erreur probable inférieure à un centième en valeur relative), ont entièrement réussi et ont permi d'affirmer que la méthode perfectionnée était capable de donner des résultats d'une grande précision, à la condition d'opérer sur une distance plus considérable et mieux déterminée, et d'employer des appareils plus puissants.

Les préparatifs de l'expédition pour l'observation du passage de Vénus ont ramené l'attention des astronomes sur l'utilité d'une détermination précise de la vitesse de la lumière; car cette vitesse, combinée avec certaines constantes astronomiques, permet de calculer la parallaxe du Soleil dont l'observation directe exige de si pénibles voyages et le dévouement de tant d'astronomes.

Aussi, sur la proposition de M. Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris, et de M. Fizeau, membre du Conseil, le Conseil de l'Observatoire décidait-il, au commencement de 1874, qu'une détermination de la vitesse de la lumière serait entreprise sans rien négliger de ce qui pourrait donner à l'opération toute la précision désirable. Le Conseil me fit l'honneur de me confier cette opération importante. Très-honoré et très-heureux de cette décision, j'aurais toutefois hésité à accepter une si grave responsabilité si je n'avais été vivement encouragé par M. Fizeau, qui n'a cessé, pendant toute la durée de ce travail, de me prodiguer les conseils les plus bienveillants et les plus précieux.

Les recherches préliminaires furent assez longues : la première question à résoudre fut le choix des stations ; M. d'Abbadie, dans sa belle propriété des Pyrénées, M. Stéphan, à l'Observatoire de Marseille, et M. Alluard, à l'Observatoire du Puy-de-Dôme, m'avaient gracieusement offert l'hospitalité pour installer mes appareils ; j'ai été très-reconnaissant de ces offres obligeantes, mais la raison qui m'empêcha de les accepter fut la connaissance imparfaite de la distance des stations qu'on pouvait adopter. Cela m'eût entraîné à des opérations géodésiques très-délicates, très-pénibles, et dont les résultats n'auraient pas été acceptés sans réserve par les physiciens.

Je résolus donc de chercher aux environs de Paris, parmi les sommets des triangles des grandes opérations géodésiques exécutées au siècle dernier, deux points se prêtant à l'installation des appareils. Après avoir hésité longtemps entre diverses stations, je me décidai à adopter l'Observatoire et la tour de Montlhéry. En effet, la valeur de la distance de ces deux points est à l'abri de toute discussion ; leur position a été déterminée ou vérifiée par les observateurs les plus éminents : spécialement à l'occasion de grands travaux géodésiques et de la mesure de la vitesse du son entreprise au siècle dernier par l'Académie, lors des opérations de la méridienne, de la détermination du mètre, de la carte de France et de la nouvelle mesure de la vitesse du son exécutée par le Bureau des Longitudes. Ces deux stations sont donc en quelque sorte classiques et sont liées aux plus glorieux souvenirs de l'histoire de la science française.

D'après les indications trouvées dans la *Méridienne vérifiée* sur la situation des signaux géodésiques employés en 1740, par Cassini et la Caille, j'ai pu calculer la distance des points où sont installés mes appareils : elle est égale à 23910 mètres. J'ai contrôlé ce résultat en partant du nombre donné par Delambre (*Base du Système Métrique*), pour la distance du Panthéon à un signal dont j'ai reconnu la position près de la tour de Montlhéry. A l'aide d'une petite triangulation, j'ai rattaché mes deux stations à cette base, et j'ai retrouvé le même nombre 23910 mètres pour leur distance.

L'expérience a été installée dans des conditions dignes de l'importance du problème à résoudre. La lunette d'émission n'a pas moins de $8^m,85$ de distance focale et $0^m,37$ d'ouverture. Le méca-

nisme de la roue dentée permet d'imprimer à celle-ci des vitesses dépassant 1600 tours par seconde; le chronographe et l'enregistreur électriques assurent la mesure du temps au millième de seconde. M. Bréguet, à qui la construction de ces mécanismes avait été confiée, a apporté à leur exécution le concours dévoué qu'il a toujours prêté à toutes les opérations auxquelles son nom est associé.

Tous ces appareils sont solidement établis sur la terrasse supérieure de l'Observatoire : une communication électrique, établissant la correspondance du chronographe avec les battements de la pendule de la salle méridienne, fixe l'unité de temps avec la plus grande précision. A la station opposée, sur le sommet de la tour de Montlhéry, il n'y a qu'un collimateur à réflexion dont l'objectif a $0^{m},15$ d'ouverture et 2 mètres de distance focale; il est enveloppé par un gros tuyau de fonte, scellé à la muraille, pour le soustraire à la curiosité des visiteurs.

La description des appareils et de la méthode d'observation sera l'objet d'un Mémoire détaillé. Je rappellerai seulement le principe de la méthode optique : on envoie à travers la denture de la roue en mouvement un faisceau de lumière qui va se réfléchir à la station opposée. Le point lumineux qui en résulte au retour des rayons paraît fixe, malgré les interruptions du faisceau, grâce à la persistance des impressions de la rétine. L'expérience consiste à chercher la vitesse de la roue dentée qui éteint cette espèce d'*écho lumineux*, ou plutôt deux couples de vitesses qui sont à égale distance de celle qu'on vient de définir. L'extinction complète a lieu lorsque, dans le temps nécessaire à la lumière pour parcourir le double de la distance des stations, la roue a substitué le *plein* d'une dent à l'*intervalle* de deux dents qui livrait au départ le passage à la lumière ; de sorte que l'extinction d'ordre n correspond au passage de $2n - 1$ demi-dents durant ce court espace de temps. La loi du mouvement du mécanisme qui entraîne la roue dentée s'inscrit sur un cylindre enfumé, et l'observateur, par un signal électrique, enregistre le moment précis où la vitesse convenable est atteinte.

Les observations sont ainsi conservées sous forme de tracés que l'on peut ensuite déchiffrer à loisir.

Voici en quelques mots le mode d'enregistrement de ces signaux

et leur signification. L'enregistreur est formé par un cylindre couvert de papier enfumé, qui tourne d'un mouvement sensiblement uniforme, grâce à un régulateur à ailettes, imaginé par M. Yvon Villarceau : il a un mètre de circonférence et fait un tour en cinquante secondes, de sorte que l'intervalle d'une seconde correspond à une longueur de 20 millimètres.

Les lignes de signaux qui se dessinent sur la surface sont au nombre de quatre, formant quatre hélices parallèles : ces signaux sont tracés par quatre électro-aimants groupés sur un chariot mobile entraîné par une vis. La première hélice comprend les signaux marquant les secondes ; la deuxième, ceux qui marquent les dixièmes de seconde ; la troisième, les signaux qui se forment tous les 40 ou tous les 400 tours de la roue dentée, et la quatrième les signaux de l'observateur correspondant à l'extinction ou à la réapparition de la lumière de retour. On a donc tous les éléments qui définissent la loi de la vitesse de la roue dentée : par un calcul d'interpolation on calcule aisément la vitesse du mécanisme au moment des signaux de l'observateur.

Le chronographe au dixième de seconde est d'une construction toute nouvelle : je le nomme *subdiviseur de la seconde*. Il est composé d'une lame vibrante, réglée à l'aide d'une masse mobile, de manière à faire ses oscillations en un dixième de seconde aussi exactement que possible. Son mouvement est alors rigoureusement réglé en même temps qu'entretenu par l'émission du courant électrique qui amène la seconde.

Les tracés graphiques sont relevés avec un microscope d'une construction également nouvelle, qui permet, à l'aide d'un grossissement variable et d'une échelle divisée, de subdiviser en cent parties l'intervalle du dixième de seconde sans fatigue pour l'observateur : on a donc ainsi la loi du mouvement de la roue dentée, mesurée au millième de seconde ; comme le temps nécessaire à fixer les éléments de ce mouvement est de trois ou quatre secondes, l'erreur relative sur la vitesse calculée est excessivement petite.

Voici le résumé des résultats déduits de 504 expériences que j'ai cherché à varier par la diversité des roues, le nombre et la forme des dents, ainsi que par la grandeur et le sens de la rotation. Ces résultats représentent la vitesse de la lumière dans l'air, exprimée en kilomètres par seconde de temps moyen : ils sont rangés suivant

l'ordre n de l'extinction qui les a déterminés; le nombre qui les accompagne représente leur *poids relatif*, à savoir : le produit du nombre d'observations par le facteur $2n - 1$.

	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	$n=9$	$n=10$	$n=11$	$n=12$
V...........	300 130	300 530	300 750	300 820	299 940	300 550	300 640	300 350	300 500
$k \times (2n-1)$..	15×7	33×9	20×11	10×13	7×15	91×17	69×19	72×21	3×23

	$n=13$	$n=14$	$n=15$	$n=16$	$n=17$	$n=18$	$n=19$	$n=20$	$n=21$
V...........	300 340	300 350	300 290	300 620	300 000	300 150	299 550	»	300 060
$k \times (2n-1)$..	4×25	9×27	65×29	4×31	22×33	35×35	6×37	»	36×41

La concordance de ces nombres est aussi grande qu'on peut le désirer dans des expériences aussi difficiles et que les moindres ondulations des couches atmosphériques peuvent empêcher; il est vrai que j'ai toujours attendu, ce qui a beaucoup exercé ma patience, une pureté et un calme exceptionnels dans l'atmosphère pour faire ces mesures; mais, grâce à cette précaution, les séries ont toujours été très-régulières. Il est nécessaire d'ajouter que, dans aucun cas, les troubles atmosphériques ne peuvent être la cause d'erreurs systématiques, car leur arrivée est entièrement fortuite, et sur la moyenne d'un grand nombre d'observations leur influence est nulle.

Ces expériences ont été faites de nuit à l'aide de la lumière Drummond, à l'exception de la série du quinzième ordre qui, par une circonstance météorologique exceptionnellement favorable, a pu être exécutée de jour avec la lumière du Soleil. Malgré la différence de nature dans la source lumineuse, le résultat ne diffère pas du résultat moyen.

La moyenne de toutes ces valeurs, en ayant égard au *poids* de chaque groupe, est égale à 300 330, qui, multipliée par l'indice de réfraction moyen de l'air 1,0003, donne comme résultat définitif la vitesse de la lumière dans le vide, $V = 300400^{km}$ par seconde de temps moyen, avec une erreur probable inférieure à 1 millième en valeur relative.

Ce résultat conduit à des conséquences importantes pour l'astronome.

La parallaxe solaire s'en déduit de deux manières différentes:

1° *D'après l'équation de la lumière.* — C'est ainsi qu'on désignait au siècle dernier le temps θ que met la lumière du Soleil à

parcourir le rayon moyen R de l'orbite terrestre. La discussion de plus de mille éclipses des satellites de Jupiter a donné à Delambre $\theta = 473^s,2$ secondes moyennes. En appelant ε la parallaxe du Soleil et ρ le rayon équatorial de la Terre ($\rho = 6378^{km},233$), on a évidemment $R = V\theta$, $\rho = R \tang r$, d'où $\tang \varepsilon = \frac{\rho}{V\theta}$ et $\varepsilon = 8'',878$.

2° *D'après l'aberration de la lumière.* — Bradley, qui a découvert ce phénomène, a trouvé pour la demi-élongation annuelle α d'une étoile idéale située au pôle de l'écliptique (élongation due à la composition de la vitesse moyenne u de la Terre dans son orbite avec la vitesse V de la lumière) la valeur $\alpha = 20'',25$. D'après W. Struve, ce nombre devrait être porté à $20'',445$. L'équation de condition s'écrit, en désignant par T la durée en secondes moyennes de l'année sidérale ($T = 365,26 \times 86400$),

$$\tang \alpha = \frac{u}{V} = \frac{2\pi R}{VT} = \frac{2\pi\rho}{VT \tang \varepsilon}, \quad \text{d'où} \quad \tang \varepsilon = \frac{2\pi\rho}{VT \tang \alpha}.$$

Par substitution de $\alpha = 20'',25$, on déduit $\varepsilon = 8'',881$ avec $20'',445$; on trouve $8'',797$. La concordance des deux méthodes est complète si l'on adopte le nombre de Bradley.

Je rappellerai que Foucault avait, par la méthode du miroir tournant, trouvé pour la vitesse de la lumière le nombre 298000 kilomètres, mais avec une approximation indéterminée, et qu'en combinant ce nombre avec la constante de Struve il concluait $8'',86$ pour la parallaxe solaire.

L'étude des perturbations planétaires conduit à une valeur de la parallaxe qui accroît encore l'intérêt de cette concordance. Je citerai spécialement l'étude approfondie des perturbations du mouvement de Vénus et de Mars, faite par M. Le Verrier, et qui l'a conduit aux nombres suivants : $\varepsilon = 8'',853$ par la considération des latitudes de Vénus aux instants des passages de 1761 et 1769; $\varepsilon = 8'',859$ par la discussion des observations méridiennes de Vénus, dans un intervalle de 106 ans; enfin $\varepsilon = 8'',866$, déduite de l'occultation de ψ du Verseau observée par Richer, Picard et Rœmer, le 1er octobre 1672; la moyenne de ces valeurs donne $8'',86$.

En résumé, on peut classer les méthodes qui servent en Astronomie à déterminer la parallaxe du Soleil en trois groupes :

1° Les *méthodes physiques* fondées sur l'observation d'un phé-

nomène optique; elles comprennent l'observation des éclipses des satellites de Jupiter ou l'aberration des fixes combinées avec la valeur de la vitesse de la lumière, déduite sans l'intervention d'autres phénomènes astronomiques; le présent travail permet de mettre à profit les observations qui sont la base de la méthode : les résultats sont $\varepsilon = 8'',88$, $8'',88$, $8'',80$. Moyenne $8'',85$;

2° Les *méthodes analytiques* qui s'appuient sur la comparaison des observations astronomiques avec les lois théoriques fondées sur le principe de la gravitation universelle : elles donnent, comme on vient de le voir, des valeurs voisines de $8'',66$;

3° Les *méthodes purement géométriques* sur les déplacements parallactiques des planètes voisines de la Terre : les oppositions de Mars ont fourni en 1862 $\varepsilon = 8'',84$. Mais le passage de Vénus sur le Soleil est le phénomène où la méthode géométrique peut atteindre la plus grande précision.

On voit donc quel intérêt il y a pour l'Astronomie à déterminer la parallaxe du Soleil par trois méthodes indépendantes; j'espère que les expériences que je viens de décrire successivement justifient par leur précision l'importance théorique de la méthode physique.

ALLOCUTION DE M. BERTIN.

(SÉANCE DU 15 JANVIER 1875.)

Il y a un an, M. Fizeau, notre premier président, se félicitait des heureux débuts de notre Société et nous engageait à marcher avec confiance vers l'avenir assuré que ces débuts nous promettaient. Je suis heureux de constater avec vous que cet espoir n'a pas été trompé et que la prospérité de la Société de Physique est allée toujours en augmentant.

Le nombre de nos adhérents, qui avait triplé dans la première année, s'est encore accru d'une manière considérable, et vous voyez qu'il s'accroît tous les jours. L'époque n'est pas éloignée où non-seulement tous les professeurs de Physique, mais encore tous les amis de cette belle science se feront un devoir de se réunir à nous. Ce devoir ne sera-t-il pas pour eux un plaisir lorsqu'ils assisteront aux expériences qui remplissent toutes nos séances, ou lorsqu'ils exposeront les recherches les plus ardues devant l'auditoire le mieux préparé pour les comprendre et les apprécier?

Il suffit de jeter les yeux sur notre Bulletin pour se convaincre de l'intérêt soutenu qu'ont offert toutes nos réunions, tant au point de vue de l'enseignement qu'au point de vue de la science pure et de la science appliquée. Cet intérêt, j'en ai le ferme espoir, se soutiendra toujours, parce que le zèle des membres de la Société ne se refroidira pas, et notre Bulletin formera peu à peu la collection la plus curieuse des progrès de la Physique.

L'état prospère de nos finances nous a permis de mettre à exécution un projet longtemps élaboré, et la Société se trouve maintenant chez elle, à la satisfaction générale. On nous avait prêté une salle de cours, nous avons maintenant un salon de conversation : nous pouvons plus facilement causer entre nous de la science que nous aimons et établir ou resserrer ces relations scientifiques qui nous sont des plus précieuses.

Quoique notre Société soit encore bien jeune, la mort a déjà frappé parmi nous. Nous avons perdu cette année six de nos collègues :

M. Élie de Beaumont, qui s'était empressé, à la fondation de la Société, de venir l'honorer de sa grande illustration scientifique;

M. Guillemin, dont vous vous rappelez les curieuses expériences sur l'induction, et qui comptait parmi les physiciens les plus originaux de ce temps-ci;

M. Lévistal, l'un des meilleurs élèves de Verdet, qu'une maladie terrible avait trop tôt enlevé à la science;

M. Gros, ancien élève de l'École Polytechnique, le professeur si regretté de Sainte-Barbe;

M. le Dr Guérard et M. Gardier, ingénieur des Ponts et Chaussées, que leurs occupations tenaient éloignés de la pratique des sciences physiques, mais qui témoignaient par leur assiduité à nos séances combien ils s'intéressaient à leurs progrès.

En quittant cette présidence que je dois à votre amitié bien plus qu'à mes mérites, laissez-moi, Messieurs, vous dire combien je suis reconnaissant de l'honneur que vous m'avez fait en m'y appelant et vous assurer de mon dévouement profond aux intérêts de notre Société.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ.

Rapport de M. *Melsens* sur la 5e question du concours de 1872 : « On demande une discussion complète de la question de température, etc. »

Notes chimiques et physico-chimiques; par M. *Melsens.* (Extrait du t. XXIII des *Mémoires couronnés et autres Mémoires publiés par l'Académie royale de Belgique*, 1873.)

Recherches sur la persistance des impressions sur la rétine; par M. *Melsens.* (Extrait des *Bulletins de l'Académie royale de Belgique,* 2e série, t. III, n° 11.)

Indicateur de l'Hérault.

Sur les vibrations transversales des fils et des lames d'une faible épaisseur; par M. *E. Gripon.* (Extrait des *Annales scientifiques de l'École Normale supérieure,* 2e série, t. II.)

De l'influence d'une membrane vibrante sur les vibrations d'une colonne d'air; par M. *E. Gripon.* (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*)

Faits relatifs à la vibration de l'air dans les tuyaux sonores; par M. *E. Gripon.* (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*)

Quelques expériences que l'on peut faire à l'aide d'un diapason; par M. *E. Gripon.* (Extrait du *Journal de Physique théorique et appliquée,* t. III, 1874.)

Rivistà scientifico-industriale compilata da *Guido Vimercati*, anno V.

Machina dielettrica del' prof. *Filippo Cecchi,* delle Scuole Pie.

Il termometro e il barometro della Loggia dell' Orgagna in Firenze; par *Filippo Cecchi* (1871).

Nuovo apparato per dimostrare l'eguaglianza della rapidità di caduta di corpi gravi e leggieri; per *Filippo Cecchi* (1872).

Intorno alla prima idea delle caldaie tubolari; Nota di *Guido Vimercati* (1873).

Piccolo motore a vapore e lampada-bilancia del dott. *Sebastiano Zavaglia* (1873).

Il termometro della Loggia dell' Orgagna in Firenze; per *Filippo Cecchi* (1871).

Sulla funzione delle forze; Nota del' dott. prof. *Domenico Cipolletti* (1871).

Sopra la riposta del sig. prof. *Giovani Cantoni* all' osservazioni fatte al suo lavoro sull' elettroforo e la polarizzazione elettrostatica; Nota del dott. *Alberto de Eccher* (1872).

Memoria sullo scopo che si propone, e sui principi su cui si fonda il nuovo autosistema telegrafico; ideato e proposito dagli ingegneri civili *Meardie* e *Garonne* (1872).

Intorno ad un nuovo apparato per la transmissione della forza avuto speciale riguardo alla forza motrice dell' acqua; Nota dell' ingegnere *Antonio Favaro* (1873).

Procès-verbeaux des séances de la Commission internationale du mètre.

Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation; par M. le général *Morin*. (Extrait des *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*.

Statistique des volumes des équivalents chimiques; par M. *Gratien West* (1873).

Mémoire sur l'emploi mécanique de la chaleur; par M. *Gratien West*.

Mémoire sur la mesure de la chaleur; par M. *Gratien West*.

Mémoire sur la gravitation, sur la cohésion et sur les distances entre les centres des molécules; par M. *Gratien West* (1874).

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils.

Météorologie nautique : vents et courants; par MM. *Ch. Ploix* et *Caspari*, ingénieurs hydrographes (1874).

Sifflet électro-automoteur pour locomotives, adopté au chemin de fer du Nord, et autres applications industrielles de l'électro-aimant Hughes; par MM. *Lartigue* et *Forest*.

LISTE

DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

ALBAN FOURNIER (le Dr), à Ramberviller (Vosges).

ALGLAVE, Directeur de la Revue Scientifique, 36, rue Gay-Lussac.

ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

ALMEIDA (d'), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

ANDRÉ (Ch.), Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 145, boulevard Saint-Michel.

ANGOT, Docteur ès sciences, 24, rue Gay-Lussac.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

AUBOUY, Professeur au Collége de Pézénas.

AUBRY, Professeur au Collége de Chalon-sur-Saône.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.

BALARD, Membre de l'Institut, 100, rue d'Assas.

BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 44, rue Madame.

BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.

BEAUME, Professeur au Lycée d'Orléans.

BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.

BECQUEREL, Membre de l'Institut, au Muséum.

BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum.

BENEVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 34, rue Madame.

BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.

BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.

BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.

BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.

BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

MM.

BICHAT, Professeur au Lycée de Versailles, 65, rue de Montreuil.
BILLET, Professeur à la Faculté de Dijon.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 20, rue de Rome.
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BONTEMPS, Directeur des transmissions télégraphiques.
BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, ancien Professeur de Physique, 53, rue du Bac.
BOUDRÉAUX, Préparateur de Physique au Lycée Henri IV, 8, rue des Écoles.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 39, rue Descartes.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURGET, Directeur des Études, à Sainte-Barbe.
BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue Madame.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, Professeur au Lycée de Reims, 15, rue Colbert.
BRANLY, Répétiteur à l'École des Hautes Études, 58 *bis*, rue Gay-Lussac.
BRÉGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BREGUET (Antoine), 39, quai de l'Horloge.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 27, boulevard Saint-Michel.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CAILLETET, Manufacturier, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Saint-Louis, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVALLIÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CAZIN, Professeur au Lycée Fontanes, 54, rue d'Enfer.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de *la Confiance*, 21, rue de Grammont.
CHAUTARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.
CIVIALE (A.), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 10, boulevard Saint-Michel.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
CROIX, Préparateur de Physique au Lycée d'Orléans.
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

MM.

DEHÉRAIN, Professeur à l'École de Grignon, 15, rue de Madrid.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée de Montauban.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DESCHANEL, Proviseur du Lycée de Vanves.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard Saint-Michel.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Lodève.
DOULIOT, Principal du Collége de Châtillon-sur-Seine.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Professeur au Collége de Béziers.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue des Ursulines.
DUPAIGNE, Professeur au Collége Stanislas, 172, boulevard Montparnasse.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.

ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FERNET, Répétiteur à l'École Polytechnique, 93, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FONTAINE (Hippolyte), 52, rue Saint-Georges.
FOURNIER (Félix), 2, rue de Châteaudun.
FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARDIER, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 17, boulevard du Temple.
GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.
GARRAN DE BALZAN, Docteur en Médecine, 53, rue Censier.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-Saint-Germain.
GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.
GAYON, Préparateur-agrégé à l'École Normale supérieure.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 105, boulevard Saint-Michel.
GIRARD (Ch.), Manufacturier à Ris-Orangis (Seine-et-Oise).
GIRARD (M.), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.
GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.
GIROUD (D.), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.

MM.

GOLAZ, Constructeur d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOSSIN, Proviseur du Lycée de Toulon.

GRÉHANT, Professeur suppléant à la Faculté des Sciences de Paris, 74, rue des Feuillantines.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée d'Avignon, 21, rue Saunerie.

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.

GUELPA, Principal du Collége de Sétif.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 8, cloître Saint-Étienne, Orléans.

HOLLANDE, Professeur au Lycée de Bastia.

HURION, Préparateur de Physique au Collége de France.

ISAMBERT, Professeur à la Faculté de Poitiers.

JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.

JANDEAU, Professeur au Collége de Turcoing.

JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.

JANSSEN, Membre de l'Institut, 33, rue Labat.

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 48, rue Gay-Lussac.

JUNGFLEISCH, Conservateur des collections, à l'École Polytechnique.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 30, rue Hautefeuille.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.

LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.

LAURENT, Constructeur d'Instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée de Dijon.

LE BOSSÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).

LECARME, Professeur au Collége Chaptal, 87, rue Saint-Pétersbourg.

LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 83, boulevard Saint-Michel.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 19, rue du Sommerard.

LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 4, rue de Braque.

LESCHI, Professeur au Collége de Corte.

LEVY (**Armand**), Professeur de Physique au Lycée d'Orléans.

LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.

LIPPMANN, ancien Élève de l'École Normale, 59, rue des Feuillantines.

LISLEFERME, Ingénieur en retraite, à Rochefort.

LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Chambéry.

MM.

LUCIANI, Professeur au Collége d'Ajaccio.
LUYNES (de), Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, 61, rue de Vaugirard.

MANGIN, Commandant du Génie, 13, avenue Lowendal.
MARC, Maître répétiteur au Lycée de Mont-de-Marsan.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 7, rue Malebranche.
MASSE, Professeur au Collége de Brive.
MASSON (G.), 17, place de l'École-de-Médecine.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 27, rue Caumartin.
MEUNIER-DOLLFUS, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, à Mulhouse.
MONCEL (du), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MORIN (Henry), 32, rue Gay-Lussac.
MOROT, Professeur à Sainte-Barbe, 28, rue Tournefort.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Préparateur à l'École Normale.

NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET-BRÉGUET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER, 11, boulevard du Temple.

PASSOT (Dr), Aide-Major au 103e de Ligne à Rueil.
PATIN, Professeur au Collége Stanislas, 43, rue Madame.
PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
PHILIPPON, Secrétaire de la Faculté des Sciences de Paris, à la Sorbonne.
PICHOT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 3, boulevard du Palais.
PLANTÉ (Gaston), 56, rue des Tournelles.
POIRÉ, Professeur au Lycée de Versailles, 60, boulevard Malesherbes.
POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.
PROTCHE (le Colonel), Commandant en second de l'École Polytechnique.
PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 37, rue Madame.

RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.
RAYET, Professeur à la Faculté de Marseille.

MM.

RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 5, place Sorbonne.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
ROMILLY (de), 8, rue de Madrid.
ROMMIER, 6, place Saint-Sulpice.
ROSENSTIEHL, Chimiste, 8, Chaussée Dornach.
RUHMKORFF, Constructeur, 13, rue Champollion.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut, 7, rue Taranne.
SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.
SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boulevard Saint-Germain.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.
SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Physique, 1, rue du Siphon, Mulhouse.
SCHŒFFER, Professeur au Collége de Béziers.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SOBAUX (l'Abbé), Professeur au Petit Séminaire de Paris, 19, rue Notre-Dame-des-Champs.
STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Agrégé, à Toulon.
TERNANT, Représentant de la C[ie] de l'Eastern Telegraph, 8, rue Pavé-d'Amour, Marseille.
TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.
THENARD (Arnould), 6, place Saint-Sulpice.
TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.
TRANIN, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille.
TRIPIER (le D[r]), 6, rue Louis-le-Grand.
TURIÈRE, Professeur au Collége de Béziers.

VAN MALDEREN (J.), Constructeur d'appareils électro-magnétiques, 67, avenue de Wagram.
VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.
VERMEILLE, Professeur au Collége de Cambrai.
VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.
VILLIERS (Antoine), 8, rue du Havre.
VIMERCATI (G.), Directeur de la *Rivista scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).
VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.
WEST, Intendant militaire en retraite, 13, rue Bonaparte.
WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 7, rue Bréa.
WOLFF, Facteur de pianos, 22, rue Rochechouart.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

Mars 1875.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

2032 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1875.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1875.

PARIS,

AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,

44, RUE DE RENNES.

—

1875

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 15 JANVIER 1875.

PRÉSIDENCE DE M. BERTIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

MM. Gaiffe, constructeur d'instruments de Physique, Hurion, préparateur de Physique au Collége de France, Jannin et Dedet, professeurs au lycée d'Albi, Félix Fournier et Henry Morin, sont nommés membres de la Société.

L'ordre du jour appelle la nomination d'un président en remplacement de M. Lissajous, qui a quitté Paris, d'un vice-président, du secrétaire général, d'un vice-secrétaire, du trésorier et de trois membres étrangers au Conseil pour la vérification des comptes. Sont élus :

M. JAMIN, *Président;*
M. QUET, *Vice-Président;*
M. D'ALMEIDA, *Secrétaire général;*
M. GERNEZ, *Vice-Secrétaire;*
M. NIAUDET-BRÉGUET, *Archiviste-Trésorier.*

Sont ensuite nommés membres de la Commission des comptes :

MM. DELEUIL,
FERNET,
LECHAT.

M. Gariel présente à la Société divers appareils destinés à l'enseignement élémentaire des lois de l'Optique géométrique : la réflexion et la réfraction sur des surfaces planes, la réfraction sur une surface courbe et la marche des rayons lumineux dans les lentilles.

Par des dispositions mécaniques très-simples et ingénieuses, M. Gariel fait mouvoir sur un tableau des baguettes qui repré-

sentent les rayons lumineux dans les différentes positions qu'il est utile de considérer pour la vérification des lois ou la théorie des lentilles.

M. du Moncel communique à la Société les résultats de ses recherches sur la conductibilité des corps médiocrement conducteurs.

La séance est levée à 10 heures un quart.

Appareils schémas pour l'explication des lois et formules de l'Optique élémentaire; par M. C.-M. Gariel.

Quelque simples que soient les lois de la réflexion et de la réfraction, ainsi que la discussion des diverses formules qui en découlent, il peut arriver qu'on éprouve un embarras réel à les faire comprendre lorsque les personnes auxquelles on s'adresse manquent complétement de connaissances mathématiques. Nous avons pensé qu'on arriverait à rendre les explications faciles en faisant usage d'appareils schématiques dans lesquels les rayons lumineux seraient représentés par des tiges liées entre elles de manière que le mouvement de l'une se transmît aux autres conformément aux lois de l'Optique.

Nous ne nous arrêterons pas aux appareils qui peuvent servir pour la loi de la réflexion : l'emploi des losanges articulés résout immédiatement la question.

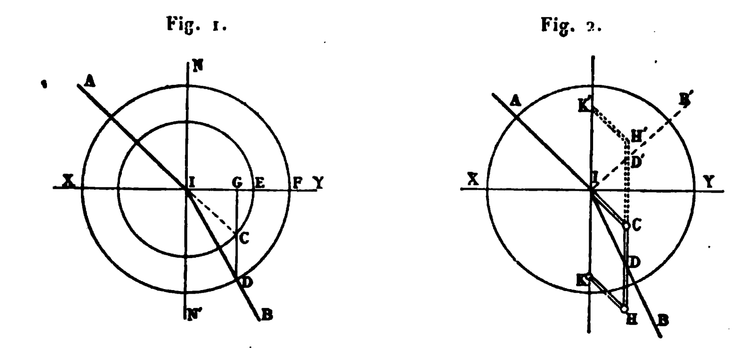
Pour la loi de la réfraction, nous nous sommes appuyé sur la remarque suivante :

Soient deux cercles concentriques (*fig.* 1) dont les rayons IE et IF sont liés par la relation $\frac{IF}{IE} = m$, m étant l'indice de réfraction de l'un des milieux dans lesquels se produit la réfraction par rapport à l'autre, et la surface de séparation des milieux XY passant par le point I. Si l'on considère deux rayons AI et IB, tels que le prolongement du premier et le second coupent les circonférences IE et IF en deux points C et D, tels que la ligne CD soit parallèle à la

normale ON au point d'incidence, ces deux rayons seront le rayon incident et le rayon réfracté correspondants. On aura, en effet,

$$\sin i = \frac{IG}{IC} \quad \text{et} \quad \sin r = \frac{IG}{ID}; \quad \text{d'où} \quad \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{ID}{IC} = m.$$

Pour réaliser pratiquement ces conditions, j'ai fait construire l'appareil suivant :



Sur un tableau (*fig.* 2), la ligne XY marque la surface de séparation des deux milieux, et KK' la normale. Une règle noire AI, mobile autour du point I, est prolongée d'une certaine longueur en IC. Une réglette HK, égale à IC, peut tourner autour du point K sur la normale; enfin une règle à coulisse CH, dont la longueur est égale à IK, complète le parallélogramme ICHK, qui a un côté fixe. Une autre règle IB, mobile autour de I et représentant le rayon réfracté, porte un bouton D, qui se meut dans la coulisse CH; la position de ce bouton est déterminée par la condition que $\frac{ID}{IC} = m$, indice de réfraction. Il est facile de voir que les lignes IA et IB sont bien astreintes ainsi à la condition que nous avons exprimée précédemment. Cet appareil permet donc de montrer dans un cours ce que c'est que la loi de la réfraction ([1]).

Ayant ainsi construit un appareil qui donnait rigoureusement la

---

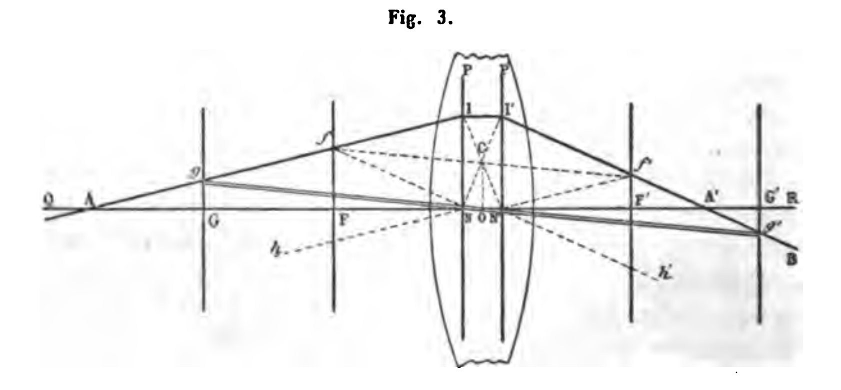
([1]) On peut employer le même appareil pour la loi de la réflexion : il suffit de reporter en K' l'extrémité K du parallélogramme articulé qui prend la position ICH'K', et de placer dans la coulisse C'H' un bouton D' fixé à la règle IB et tel que IC = ID'.

liaison entre le rayon incident et le rayon réfracté, nous avons pu appliquer la même idée à la représentation des phénomènes qui se produisent dans le passage d'un rayon homogène à travers un prisme ou dans la réfraction à travers une surface sphérique. Nous ne croyons pas devoir décrire ces appareils, bien qu'ils contiennent des détails assez importants au point de vue de l'enseignement, voulant nous borner à exposer le principe de ces instruments.

C'est en nous appuyant sur des remarques différentes que nous sommes arrivé à réaliser un appareil analogue au précédent, et propre à faciliter l'étude et la discussion des formules des lentilles. Nous nous occuperons seulement du cas d'une lentille convergente.

Soit (*fig.* 3) une lentille dont NP, N'P' sont les plans principaux, et F*f*, F'*f'* les plans focaux; soit un rayon incident AI qui coupe en

Fig. 3.



f le premier plan focal. Joignons *f*N; on sait que le rayon réfracté sera parallèle à *f*N; il coupera d'ailleurs le plan principal N'P' en I' à la même hauteur que le rayon incident; il est donc déterminé, c'est I'A'; mais on sait aussi que, *f'* étant le point où ce rayon réfracté coupe le second plan focal, si l'on joint *f'*N', cette ligne est parallèle au rayon incident AI. On voit alors que l'hexagone *f*II'*f'*N'N a ses côtés égaux et parallèles deux à deux, et qu'il a un centre en C, point d'intersection des diagonales. La ligne qui joint les points où les rayons incident et réfracté percent les plans focaux passe donc par un point fixe et y est divisée en deux parties égales. De plus, et dans les limites où l'on peut employer les constructions et les formules, la longueur *ff'* est sensiblement égale à la distance FF'. Si

donc on a une réglette dont la longueur soit égale à FF′ et qui soit mobile en son milieu autour du point C, et si l'on prend, d'autre part, deux règles AI et I′A′, mobiles respectivement autour de I et I′ et s'appuyant constamment sur la réglette ff', ces règles seront les rayons incident et réfracté correspondants.

Pour diverses raisons, il est plus commode d'employer une réglette gg', mobile autour du point O, milieu de NN′, et ayant une longueur égale à GG′, les points G et G′ étant tels que les distances FG et F′G′ soient égales à la distance focale. Avec la même approximation que précédemment, les rayons qui s'appuient sur les extrémités de cette réglette se correspondent. Ce mode de liaison se prête fort bien d'ailleurs à la démonstration *a posteriori* des formules classiques $\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f'}$ ou $ll'=\varphi^2$. On remarquera que l'on tient compte de l'épaisseur de la lentille, mais qu'il serait très-facile de construire l'appareil pour le cas d'une lentille excessivement mince.

Nous passons sur divers détails qui ont leur utilité pour la démonstration dans un cours, aussi bien que sur un appareil basé sur la même construction, et qui représente le passage d'un rayon dans une lentille divergente; ce que nous avons dit suffit pour faire concevoir le parti que l'on peut tirer de ces appareils dans les cours élémentaires de Physique.

Sur la conductibilité des corps médiocrement conducteurs;
par M. du Moncel.

M. du Moncel montre que cette conductibilité peut être envisagée sous deux points de vue : sous celui de la conductibilité propre de la matière qui constitue ces sortes de corps et sous celui du pouvoir conducteur qu'ils acquièrent par l'absorption qu'ils font tous, plus ou moins, de l'humidité de l'air ambiant. C'est à ce dernier point que M. du Moncel a étudié la question.

Après avoir indiqué les causes perturbatrices contre lesquelles on doit se prémunir dans ces sortes d'expériences, surtout avec

des galvanomètres aussi sensibles que ceux qu'il a mis à contribution, et avoir montré l'influence exercée par l'action de la chaleur, de la pression et de la polarisation sur la conductibilité de certains corps, tels que les corps ligneux, M. du Moncel donne quelques détails sur les expériences qu'il a entreprises sur les bois, les minéraux et les tissus. Il fait voir que ces corps, tant qu'ils sont poreux, sont des espèces d'éponges qui absorbent l'humidité de l'air et dont la conductibilité, variant avec cette humidité, peut faire de ces corps de véritables hygromètres, dont les indications varient aux différentes heures du jour et suivant la température. Il démontre que cette absorption ne se fait pas seulement à la surface, mais dans toute la masse de ces corps, et que les lois de propagation électrique, dans ces sortes de conducteurs, participent, en raison de la grande résistance qu'ils présentent, dans tous les sens, aux effets de transmission à travers les plaques et les milieux conducteurs indéfinis, effets étudiés par M. Kirchhoff. Il indique ensuite les moyens de rendre les bois isolants.

En parlant de la conductibilité des minéraux, M. du Moncel fait remarquer que la grande différence, qui existe entre eux et les bois sous ce rapport, réside dans les effets de polarisation qui s'y trouvent développés d'une manière toute particulière et très-caractérisée. Il montre que la fusion et la cristallisation sont deux causes qui tendent à les rendre isolants.

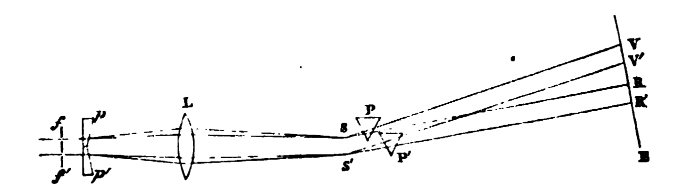
Quant aux tissus, M. du Moncel a reconnu que, généralement, les étoffes de laine sont plus isolantes que les étoffes de soie, à cause de la charge qu'on fait subir à ces dernières. Les toiles sont les tissus les plus conducteurs et les cotonnades viennent après; leur conductibilité est d'autant plus grande que le tissu est plus gros. En présence de ces différences si caractérisées de conductibilité, il devient facile de reconnaître au galvanomètre, non-seulement les soies chargées, mais encore les tissus de soie ou de laine dans lesquels il entre du fil ou du coton.

Sur la composition des couleurs; par M. Mascart.

(Séance du 4 décembre 1874.)

Une Note publiée par M. Boudréaux (*Journ. de Phys.*, t. III, p. 350) sur l'expérience des bandes colorées de Newton m'engage à indiquer une méthode que j'ai employée, il y a quelques années, pour produire avec une même source de lumière deux spectres simultanés que l'on peut faire empiéter l'un sur l'autre d'une manière quelconque, afin de reproduire toutes les combinaisons des couleurs deux à deux.

Sur le trajet d'un faisceau de rayons lumineux à peu près parallèles, comme les rayons solaires ou ceux d'une source artificielle placée au foyer principal d'une lentille convergente, on place un obturateur muni de deux fentes parallèles f et f', à la suite des-



quelles se trouvent deux prismes p et p' d'angle très-aigu. La déviation produite par ces prismes est assez faible pour que les deux faisceaux puissent tomber sur une même lentille convergente L, située à la distance convenable pour donner des images des deux fentes sur un écran. Les deux faisceaux forment en S et S' deux images de la source; les deux systèmes de rayons sont alors parfaitement distincts, et on les reçoit séparément sur deux prismes réfringents P et P', de manière à obtenir sur un écran E deux spectres RV et R'V' orientés dans le même sens. Il suffit de tourner l'un ou l'autre des prismes pour faire empiéter ces spectres plus ou moins complétement. Si toutes les pièces sont exactement ajustées, les deux spectres ont la même hauteur et sont étalés dans un même plan horizontal; mais le moindre défaut de symétrie, une longueur inégale des fentes, un défaut de parallélisme de prismes p, p' ou P, P'

suffit pour relever un des spectres. On voit alors, en chaque point de la région commune, une teinte résultante, et les portions intactes des deux spectres indiquent exactement la nature des couleurs simples qui entrent dans le mélange.

On obtient ainsi, par le glissement d'un des spectres sur l'autre, une succession de nuances très-variées et d'un grand éclat. Il est facile d'ailleurs de modifier la proportion des couleurs simples dans les mélanges, en modifiant à l'aide d'une vis la largeur de l'une des fentes. Enfin, pour mieux juger d'une teinte en particulier sans effets de contraste, il suffit de percer l'écran E d'une ouverture par laquelle on laissera passer les couleurs que l'on veut combiner et de produire par une nouvelle lentille une image de cette ouverture sur un autre écran. Cette disposition permet de réaliser tous les mélanges de deux couleurs que M. Helmholtz obtient à l'aide d'une fente en forme de V, avec cette différence qu'une teinte est produite par la superposition de deux bandes parallèles, au lieu de se trouver seulement au point de croisement de deux bandes obliques l'une à l'autre.

Pour superposer deux spectres de dispersions inverses, il suffit de tourner l'un des prismes, P' par exemple, de 180 degrés et de ramener les deux spectres par des réflexions convenables sur un écran placé dans la direction du faisceau primitif : on obtient alors un spectre symétrique par rapport au milieu et composé de couleurs très-singulières.

Enfin une légère modification de l'appareil permet de réaliser toutes les combinaisons de trois couleurs. On emploie trois fentes parallèles, et l'on écarte un peu les prismes *p* et *p'*, de façon que les rayons qui émanent de la fente du milieu ne soient pas déviés : il se produit alors trois images de la source que l'on reçoit sur trois prismes différents. Le prisme central est à vision directe et donne un spectre sur un écran normal à la direction du faisceau primitif; les prismes latéraux donnent des spectres déviés en sens contraires, que l'on ramène par réflexion sur le spectre central. Cette expérience offre un intérêt particulier à cause de la théorie célèbre des trois couleurs principales. M. Duboscq a imaginé une disposition très-simple pour installer sur un même obturateur les deux prismes *p* et *p'* et trois fentes qui sont commandées par des vis de rappel indépendantes.

SÉANCE DU 29 JANVIER 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Salet expose le résultat de ses expériences sur les deux spectres lumineux de la vapeur de soufre. Il fait voir que les particularités que présente le soufre sont les mêmes que celles qu'on observe avec l'iode, qui donne un spectre manifestement primaire.

M. Cornu se demande s'il ne faudrait pas attribuer la différence des deux spectres du soufre à des traces de matières étrangères.

M. Salet répond que c'est pour éviter cette objection qu'il a rejeté l'emploi des tubes de Geissler.

M. Gernez, rappelant des expériences faites sur les spectres d'absorption de divers corps simples et composés dans des tubes pleins de vapeur sous la pression atmosphérique, dit qu'il a observé pour le soufre les mêmes phénomènes que M. Salet; il fait remarquer que, dans ces expériences, les impuretés, au lieu d'être en quantité comparable avec la matière sur laquelle on opère, comme dans les tubes de Geissler, ne peuvent jamais être qu'un infiniment petit sans influence sur le résultat de l'observation.

M. Deleuil expose devant la Société les avantages que présente, dans la pratique usuelle, une balance de demi-précision qu'il a construite et qui peut peser 2 à 3 kilogrammes à 5 milligrammes près. Cet instrument est disposé pour peser des objets très-volumineux, tels que ballons et flacons de plusieurs litres.

Il donne aussi quelques détails sur des perfectionnements apportés au mécanisme des balances employées à la Monnaie de Paris pour la vérification automatique des pièces d'or. Il offre de faire fonctionner ces appareils devant les membres de la Société, à l'Hôtel des Monnaies, jeudi prochain à 2 heures.

M. Bertin expose quelques expériences de M. Ducretet qui démontrent que, si l'on interpose dans un circuit voltaïque un voltamètre dont l'un des fils est en aluminium et l'autre en un métal quelconque, le courant éprouve, en passant de l'aluminium à l'autre

métal, une résistance incomparablement plus grande que lorsqu'il passe de ce métal à l'aluminium.

Il fait voir qu'on peut utiliser ce phénomène pour faire passer un courant bifurqué dans l'un ou l'autre des deux fils, suivant la disposition des voltamètres à aluminium et platine qu'on interposerait sur ces fils.

M. Jamin rappelle à la Société les résultats de ses recherches sur l'aimantation de l'acier.

Il explique les particularités que présente l'étude du magnétisme par points à l'aide d'un contact dont on mesure la force d'arrachement, et il fait voir que cette méthode, appliquée à des barreaux fortement trempés, n'indique qu'une faible quantité de magnétisme, tandis que ces barreaux agissent très-énergiquement sur des aimants placés à distance.

La séance est levée à 9 heures trois quarts.

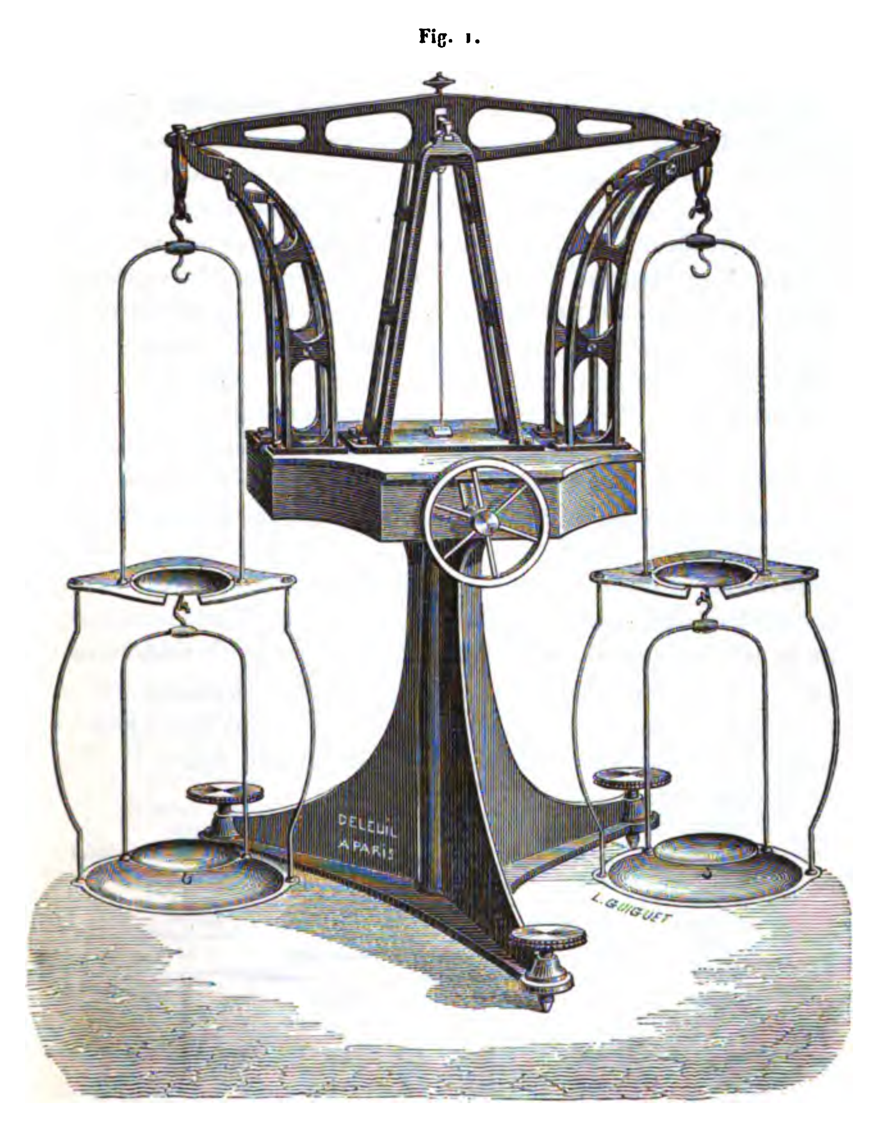
Nouvelle balance de laboratoire pouvant porter 3 *kilogrammes dans chaque plateau, sensible à* 5 *milligrammes;*

par M. Deleuil.

Depuis longtemps les laboratoires font usage de la balance Roberval, à plateaux supérieurs, pour les pesées ordinaires; mais cet instrument, que sa commodité a forcément introduit dans la pratique, est peu précis, et a le grave inconvénient de se fixer, de sorte qu'il peut donner lieu à d'assez fortes erreurs. J'ai pensé être utile aux savants, comme aux industriels, qui font maintenant beaucoup usage de la balance pour leurs recherches, en disposant un instrument qui permet de peser un poids assez fort, avec une sensibilité beaucoup plus grande que la balance Roberval; j'ai conservé à cet instrument une des propriétés de la balance de précision, celle de laisser le fléau libre lorsque la balance est au repos. La disposition que j'ai donnée au modèle (*fig.* 1) permet de peser des ballons de 25 centimètres de diamètre, de même que les bal-

lons à long col, ou des flacons de 1 à 2 litres; on peut aussi, à

Fig. 1.



l'aide de la double paire d'étriers, prendre la densité de corps volumineux.

Sur l'effet produit par l'application des armatures à des aimants tout formés; par M. J. Jamin.

J'ai indiqué dans l'un de mes Mémoires (*Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 1331) le procédé qui me permet d'évaluer la totalité du magnétisme d'un aimant. Il consiste à diviser la surface de cet aimant en petits carrés élémentaires et à mesurer la force d'arrachement F d'un contact d'épreuve placé au milieu de chacun d'eux. Les racines carrées de F expriment le magnétisme de chaque élément et leur somme est le magnétisme total. Je n'entrerai ici dans aucun détail sur les moyens d'abréger ce travail considérable et minutieux.

J'emploie des aimants dont l'épaisseur et la largeur sont égales à 10 et à 50 millimètres; leur longueur varie. Les armatures ont la même largeur et la même épaisseur; elles sont ajustées aussi exactement que possible et appuyées par pression sur l'extrémité des aimants qu'elles prolongent.

Je remarque d'abord que, si l'on place une seule armature à l'extrémité boréale d'un aimant, elle ne modifie en rien l'état magnétique de la portion australe restée nue. On en jugera par le tableau suivant, qui exprime les valeurs de $\sqrt{F}$, mesurées de centimètre en centimètre, à partir de la section moyenne, sur trois lignes menées parallèlement à l'axe à des distances de cet axe égales à 15 et 25 millimètres:

N° 1. — *Acier fondu trempé n° 1. Partie australe nue, observée sur des parallèles à l'axe, à des distances de cet axe égales à*

Distance à la section moyenne.	0mm		15mm		25mm	
	La partie boréale étant					
	nue.	armée.	nue.	armée.	nue.	armée.
0.....	0	0	0	0	0	0
2.....	0,6	0,7	1,0	»	1,0	0,9
4.....	1,2	1,4	1,4	1,5	2,1	2,0
6.....	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,8
10.....	3,0	3,2	3,8	4,2	4,7	4,6
14.....	6,1	6,0	6,4	6,5	7,8	7,9
16.....	7,6	8,0	8,0	7,8	9,2	9,3
17.....	»	»	»	»	»	»
17,5...	9,3	9,4	9,8	9,5	10,3	10,3

Si maintenant on considère l'effet que produit sur le côté austral une armature que l'on y applique, on reconnaît, comme il était facile de le prévoir, qu'elle prend du magnétisme, que l'acier en perd, mais que cette nouvelle distribution n'est en rien modifiée si l'on met une armature ou qu'on l'enlève au côté opposé; de façon qu'il y a une indépendance absolue, eu égard à ces armatures, entre les deux moitiés de l'aimant.

Cette indépendance des deux extrémités prouve un fait capital qui sera la base de tout ce qui va suivre : que l'application d'une armature à l'un des bouts d'un aimant y provoque une nouvelle distribution, mais ne diminue ni n'augmente la somme de magnétisme qui s'y trouvait d'abord.

Je vais maintenant montrer, par un exemple, comment se fait la nouvelle distribution dans chaque section de l'acier perpendiculaire à son axe, à des distances de la ligne moyenne qui croissent de centimètre en centimètre; elles sont exprimées par la moyenne $y = \sqrt{F}$ des forces d'arrachement mesurées dans ces sections. On construit ensuite les courbes dont les ordonnées sont y; leur aire est la somme du magnétisme, soit dans l'acier, soit dans les armatures. Dans les deux premières colonnes du tableau suivant, on trouve les valeurs observées y : 1° dans l'aimant nu, de longueur égale à $17^c,5$; 2° dans ce même aimant prolongé par une armature de $17^c,5$ à $27^c,5$.

N° 3. — *Ordonnées moyennes* ($y = \sqrt{F}$).

Distance à la section moyenne.	Intensités observées.		Intensités réelles.	
	Acier nu.	Aimant armé.	Acier nu.	Aimant armé.
0	0,6	0	0	0
4	1,4	1,2	3,08	2,63
6	2,6	1,9	5,72	4,18
8	3,6	2,8	7,32	6,16
10	4,2	3,4	9,24	7,08
12	5,1	3,6	11,22	7,92
14	6,7	4,1	14,74	9,02
16	7,9	4,7	17,48	10,34
17	10,4	7,5	23,08	15,50
17,5	11,3	5,8	24,86	12,76
17,5	»	5,1	»	5,1
18,5	»	5,3	»	5,3
20,5	»	5,7	»	5,7
24,5	»	5,9	»	5,9
26,5	»	6,0	»	6,0
27,5	»	6,9	»	6,9

Magnétisme total.

	Intensités observées.	Intensités réelles.
Acier nu............	74,3	163,46
Acier armé.........	47,3	104,06
Perte...............	27,0	59,40
Gain de l'armature. .	60,1	60,10
Rapport...........	0,449	

Ceci montre que l'acier a perdu et l'armature gagné, et, puisque la somme a dû rester constante, il faut que la perte soit égale au gain. Or les deux premières colonnes du tableau précédent prouvent qu'il n'en est point ainsi : la perte totale est égale à 27,1, le gain à 60,1. Celle-là est beaucoup plus faible que celui-ci; leur rapport est 0,449. C'est un fait général qui se retrouve avec tous les aciers, avec toutes les armatures.

Il aurait pu être prévu. En effet le contact d'épreuve placé sur un fer doux aimanté attire à lui non-seulement le magnétisme de la portion qu'il couvre, mais aussi celui des parties voisines, dans un rayon assez grand, à cause de la conductibilité du fer; il attire la quantité de magnétisme qui existe dans un élément d'étendue moyenne σ et dont l'intensité est i: la valeur trouvée de $\sqrt{F}$ mesure donc σi. La même chose a lieu quand il s'agit de l'acier; mais, dans ce cas, la conductibilité est moindre, l'étendue de l'élément influencé est plus petite, soit σ', et $\sqrt{F}$ mesure $\sigma' i$. Les deux mesures ne sont donc pas comparables. Pour qu'elles le deviennent, il faut les ramener à des éléments égaux, c'est-à-dire multiplier celles du fer par le rapport $\alpha = \frac{\sigma'}{\sigma}$, qui est plus petit que l'unité. Dans l'exemple précédent, on trouvera la valeur de α, en se rappelant que la perte 27,0 de l'acier doit être égale au gain $\alpha \times 60,1$ du fer, et en posant

$$\alpha = \frac{27,0}{60,1} = 0,45.$$

Inversement, si l'on multiplie par $\frac{1}{\alpha}$ toutes les intensités observées sur l'acier, on les ramène au cas où elles mesureraient le magnétisme sur l'étendue d'un élément égal à celui du fer. Elles se trouvent alors multipliées par 2,2 et inscrites dans les deux dernières

colonnes du tableau. On voit par là que l'acier a, en réalité, très-peu perdu et l'armature très-peu gagné.

Si ces idées sont exactes, il faut que ce coefficient α soit invariable pour un même acier : c'est en effet ce que j'ai vérifié par un nombre considérable de mesures.

Puisque le coefficient α ne dépend que de la conductibilité de l'acier, il peut servir à l'exprimer; ainsi elle se représente par $\alpha = 0,17$ pour un des aciers étudiés qui était très-dur; elle était de 0,80, presque égale à celle du fer, pour l'acier qui avait été recuit au rouge blanc.

Par contre, $\frac{1}{\alpha}$ sera une mesure de la force coercitive : égale à 5,9 pour le premiera cier, à 1,25 pour le dernier, celle du fer étant prise pour unité.

La valeur de α étant déterminée pour chaque acier, il faudra multiplier les mesures prises sur cet acier par $\frac{1}{\alpha}$ pour les rendre comparables à celles qu'on a obtenues sur l'armature. On obtient ainsi les *intensités réelles* mesurées sur des éléments superficiels égaux.

On trouve alors que les armatures ne prennent en réalité que peu de magnétisme aux aimants, lors même qu'elles seraient très-étendues.

Certains aciers très-durs, et qui semblent ne point s'aimanter, comme je l'ai autrefois observé, prennent cependant un magnétisme notable, mais qui apparaît très-peu au contact d'épreuve, parce que cet acier, n'étant presque pas conducteur, ne cède à ce contact que le magnétisme de l'élément touché σ, élément qui est très-petit pour cet acier; tandis que pour le fer il est très-grand σ', et que, pour comparer ces deux métaux à surfaces égales, il faut multiplier les nombres observés sur l'acier par $\frac{1}{\alpha} = \frac{\sigma'}{\sigma}$, qui est un nombre très-grand. Ainsi, pour deux aciers, le contact indiquait les quantités de magnétisme 54,5 et 77. Le premier paraissait moins aimanté que le second; mais, en multipliant ces nombres par les valeurs correspondantes de $\frac{1}{\alpha}$, on trouve 320 et 188. En réalité, c'est le premier aimant qui est le plus fort.

L'action sur la limaille de fer est la même que sur le contact d'épreuve; la force portative est aussi dans le même cas. Tout contact enlève aux deux branches de l'aimant portant une partie de leur magnétisme : beaucoup, si cet aimant est bon conducteur; très-peu, s'il est très-dur. Par suite, ce ne sont pas les aimants le plus chargés qui portent le mieux : ce sont ceux qui ont la meilleure conductibilité.

L'action à distance est tout autre, la conductibilité n'y est pour rien : c'est la charge vraie qui produit l'effet. Un fer doux et un acier très-dur qui indiqueraient le même magnétisme au contact d'épreuve seraient très-inégaux à distance; l'acier l'emporterait, et si à distance un acier est équivalent à un fer doux aimanté, il se montrera beaucoup plus faible en force portative, en intensité au contact, ou par son effet sur la limaille.

Je possède un aimant qui m'a été remis par M. Dalifol, et qui ne prend dans une bobine qu'un magnétisme insignifiant, égal à 0,8, tandis qu'un aimant de même dimension donne 74,3; le rapport est 94.

Si on les place tous les deux devant une aiguille suspendue très-petite, on trouve par la méthode des oscillations que le rapport de leurs effets à la même distance est réduit à 24. C'est le rapport des magnétismes vrais

$$\frac{74,3}{\alpha'} \quad \text{et} \quad \frac{0,8}{\alpha}, \quad \text{ou} \quad 94 \times \frac{\alpha'}{\alpha};$$

et, comme α' est beaucoup plus petit que α, le rapport doit avoir diminué, comme cela est en effet.

Cette discussion montrera combien ces questions sont délicates et combien de fautes ont été commises. Elle prouve que les diverses méthodes d'investigation, suivant qu'elles agissent à petite ou à grande distance, ne sont point comparables. Celle que j'emploie a au moins l'avantage d'être définie, puisqu'elle opère au contact et non à des distances qui sont variables. Elle permet aussi, ayant mesuré un certain effet, de déterminer α et de conclure le magnétisme vrai des aciers comparé à celui du fer doux.

Note sur un rhéotome liquide à direction constante, fondé sur une propriété nouvelle de l'aluminium ; par M. E. DUCRETET.

Lorsque l'on place dans le circuit d'un courant électrique un récipient ou voltamètre contenant un liquide conducteur et deux lames métalliques, l'une d'aluminium A, l'autre de platine P, on constate :

1er *cas.* — Lorsque la lame P reçoit l'électrode positive d'une pile, et la lame A l'électrode négative, l'eau est décomposée; l'hydrogène se porte sur la lame négative A, l'oxygène sur la lame positive P, et le courant électrique de la pile traverse librement l'espace liquide qui sépare les deux lames métalliques.

2e *cas.* — Si l'on renverse le sens du courant, de telle sorte que l'électrode positive arrive en A et l'électrode négative en P, l'eau n'est plus décomposée, et le courant électrique ne passe plus que très-faiblement à travers l'espace liquide qui sépare les deux lames métalliques.

Dans le premier cas, une sonnerie électrique, placée dans le circuit, marchera très-violemment, et ne bougera pas dans le second cas. En remplaçant la sonnerie par un fil de fer, il sera fondu dans le premier cas et ne sera pas même chauffé dans le second cas; le fil de fer étant tenu entre les doigts, on ne sent aucune chaleur. Un galvanomètre accusera, dans le premier cas, une déviation de 22 degrés, et ne donnera que 2 degrés dans le second cas.

Cette résistance considérable au passage du courant électrique se produit instantanément; elle est constante et durable, quel que soit le nombre d'inversions du courant de la pile à travers ce voltamètre, que je nomme *rhéotome* liquide à direction constante.

Il est préférable d'employer le platine : d'autres métaux, en s'oxydant, recouvrent la lame d'aluminium et nuisent à l'expérience. Cette résistance au passage du courant de la pile ne se produit pas en substituant à la lame d'aluminium une lame d'or, d'argent, de platine, de cuivre, de zinc, de magnésium, d'étain, de plomb, etc. Elle tend à se produire avec une lame de fer, mais l'effet n'a pas lieu tout de suite, et pas complétement; de plus, la surface du fer est modifiée, altérée et dégage une mauvaise odeur : elle abandonne au liquide acide du sulfate de fer.

Quant à l'aluminium, sa surface ne paraît pas s'altérer, elle est préservée par une légère couche d'alumine, sous laquelle on retrouve le poli de la plaque. Cette couche d'alumine se produit immédiatement et persiste, malgré l'inversion du courant de la pile.

Cette nouvelle propriété de l'aluminium électrisé positivement est susceptible d'applications que la pratique pourra sanctionner. Voici une application intéressante que je signale. Tout appareil placé dans ce circuit ne fonctionne que si le sens du courant est convenable. Ce rhéotome sera donc, dans ce cas, un appareil de sûreté, s'il y avait importance à n'envoyer le courant que dans un sens déterminé. En accouplant deux rhéotomes liquides par les lames de nom contraire, ils permettront de produire des effets différents sur un même appareil électrique (tel qu'un télégraphe imprimeur) et, dans ce cas, avec un seul fil de ligne (retour par la terre). Cette application sera la même pour tout appareil télégraphique direct ou à relais. Il permettra la transmission simultanée dans deux directions opposées, avec un seul fil de ligne, et cela sans aviser le poste intermédiaire, qui habituellement doit changer la direction. L'emploi de ce rhéotome à la télégraphie ne nécessitera aucune modification aux appareils employés.

SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le dépouillement du vote qui a eu lieu à la dernière séance pour la nomination du Conseil a donné les résultats suivants :

Sont nommés membres du Conseil :

Membres résidants :

MM. Blavier,
Bourget,
Duboscq.

Membres non résidants :

MM. MEUNIER-DOLLFUS,
RAULX,
STRUMBO.

M. Moreau réalise, devant la Société, quelques expériences pour montrer que la vessie natatoire ne joue qu'un rôle passif dans les mouvements d'ascension et de descente des poissons.

M. Jamin communique à la Société la suite de ses recherches sur le magnétisme. M. Jamin montre des aimants de différentes formes construits d'après ces principes, et dans lesquels il a exagéré à volonté, soit la quantité totale de magnétisme, soit l'intensité magnétique en chaque point.

La séance est levée à 10 heures.

La vessie natatoire des poissons considérée comme appareil hydrostatique; par M. Armand MOREAU.

Parmi les poissons qui possèdent une vessie natatoire, les uns, comme les cyprins, ont un canal aérien qui fait communiquer l'intérieur de l'organe avec la cavité de l'estomac, et qui permet au poisson de rejeter au dehors des bulles d'air, ce qu'il fait quand le volume de l'organe est trop considérable. Ce canal est muni de valvules et fait donc l'office d'une soupape de sûreté. Les autres, comme les perches, ont la vessie natatoire tout à fait close.

On a admis, depuis le traité *De motu animalium*, de Borelli, 1685, on admet encore aujourd'hui que le poisson agit sur sa vessie natatoire à l'aide de ses muscles et la comprime ou la laisse dilater en augmentant ou en diminuant la contraction de ses muscles, et qu'ainsi il modifie à volonté le volume de l'organe. Le changement de densité qui résulte du changement de volume est une condition que le poisson utiliserait donc pour ses mouvements d'ascension ou de descente.

Je vais montrer que le poisson qui a une vessie natatoire subit les variations de la pression intérieure, et qu'ainsi il n'use pas de

sa puissance musculaire quand cette pression change pour garder sa densité.

Première expérience. — Je place dans un bocal cylindrique plein d'eau, mais non complétement, un poisson (une perche) enfermé dans une cage, soutenu par un ballon de verre que termine une pointe effilée; l'ensemble de cet appareil a une densité un peu plus faible que l'eau : la pointe émerge donc. Une pompe aspirante et foulante, un manomètre sont adaptés au couvercle, qui ferme bien.

On comprime l'air dans l'espace qui surmonte l'eau, et l'on constate que l'appareil descend. Quand il arrive au fond, on supprime la pression ajoutée, l'appareil ne remonte pas; on fait alors le vide, c'est-à-dire qu'on supprime en aspirant une partie de la pression atmosphérique normale, et l'on constate que l'appareil ne commence à s'élever que quand le manomètre indique que l'on a supprimé, à l'aide de la pompe, une pression équivalant à celle que l'eau exerçait sur l'appareil et qui s'ajoutait, à mesure que le poisson tombait plus bas, à la pression d'air donnée par la pompe. On voit ainsi que ce poisson en cage suit exactement les variations de volume que lui imprime la pression extérieure.

Cette expérience est faite sur un poisson captif. On pourrait craindre que le poisson ainsi retenu se comportât autrement que le poisson nageant.

Deuxième expérience. — Le poisson, dans cette expérience, monte et descend librement d'une quantité assez grande pour permettre de voir combien son volume se dilate quand il monte, et, réciproquement, combien il diminue quand il descend.

L'appareil consiste dans un bocal cylindrique assez haut, complétement plein d'eau et fermé par un couvercle qui donne passage à un tube courbé horizontalement. Lorsqu'un poisson est placé dans cette espèce de voluménomètre, on voit que l'eau du tube mesureur s'avance vers l'intérieur, et inversement, suivant que le poisson s'élève ou qu'il descend.

Ces expériences montrent que le poisson subit et accuse, par la variation de son volume, toutes les influences des pressions extérieures, même des plus faibles différences de pression qu'en changeant de niveau la hauteur de l'eau lui impose. Or, si l'on considère

que, dans un bocal dont la hauteur est plus petite que 1 mètre, la densité de l'eau prise en haut est égale à la densité de l'eau prise en bas, comme on voit que le volume du poisson est très-différent, suivant qu'il est en haut ou en bas, et que le poisson garde l'augmentation de volume subie pendant l'ascension, tant qu'il reste en haut, de même qu'il garde la diminution de volume subie pendant la descente, tant qu'il reste en bas, on est conduit à conclure que ces variations de volume sont passives, et que le poisson n'agit pas sur son propre volume par ses efforts musculaires, puisqu'il offre toujours un volume en rapport avec la pression, tandis qu'il devrait se donner un volume constant pour être en haut et en bas de l'appareil en équilibre avec une eau dont la densité est constante.

On se ferait une idée tout à fait fausse de la vessie natatoire comme appareil hydrostatique si l'on s'en tenait là. L'expérience suivante montre que le poisson s'adapte à toutes les hauteurs non pas par une action mécanique exercée sur la vessie natatoire au moyen de ses muscles, mais en changeant la quantité d'air contenue dans l'organe.

Troisième expérience. — J'ai enfermé dans de grands paniers des poissons, et je les ai suspendus à une bouée, qui montait et descendait avec la marée. Le poisson était ainsi maintenu à une hauteur constante dans la mer, avec le panier chargé de poids, qui faisait tendre la corde. Le poisson ainsi maintenu pendant un nombre d'heures suffisant possédait exactement la quantité de gaz nécessaire pour lui maintenir le volume qu'il avait primitivement à une autre pression; et il reprenait ainsi la densité de l'eau qui eût été perdue par la variation de la pression.

Grâce aux expériences précédentes, on comprend comment les pêcheurs peuvent prendre certaines espèces munies de vessie natatoire à des profondeurs très-variables. Elles se sont, en effet, accommodées à ces profondeurs en faisant varier, dans le sens et la proportion convenable, la quantité de gaz contenu dans leur vessie natatoire. On comprend aussi le fait fréquemment constaté de l'énorme dilatation que subit le poisson amené rapidement à la surface. Je me suis assuré directement qu'un poisson qui vient à la surface reprend par absorption, lorsqu'il ne peut le chasser par un canal spécial, l'excès de gaz qu'il possède; mais cette réabsorption de l'air

de la vessie natatoire exige un temps qui lui manque quand il est ramené par la ligne ou le filet du pêcheur ([1]).

Sur l'aimantation des aciers garnis d'armatures; par M. J. Jamin.

J'ai montré dans la dernière séance de la Société : 1° qu'une armature ajoutée à un aimant tout formé lui enlève une portion de son magnétisme; 2° que le gain réel de l'armature est égal à la perte faite par l'aimant; 3° que, pour rendre les mesures comparables, il faut multiplier les résultats trouvés sur l'aimant par un coefficient $\frac{1}{\alpha}$ que l'expérience détermine; α représente la conductibilité de l'acier. Je vais revenir aujourd'hui sur une question que j'ai précédemment ébauchée et sur laquelle j'ai de nouvelles observations à présenter : je vais étudier ce qui arrive si l'on vient à réaimanter l'ensemble de l'aimant et de ses armatures, au lieu d'aimanter l'acier seul et de l'armer ensuite.

J'ai admis précédemment qu'un aimant peut toujours être décomposé en filets élémentaires couchés les uns à côté des autres, et dont les extrémités affleurent aux surfaces polaires des deux côtés de la ligne moyenne. Après une aimantation déterminée, ces filets ont pénétré à une certaine profondeur. Leur nombre est proportionnel à cette profondeur et au périmètre de la section moyenne de l'aimant. Si le périmètre augmente ou diminue, ce nombre croit ou décroit proportionnellement; par conséquent la quantité de magnétisme de l'aimant est exclusivement réglée par la section moyenne, et ne dépend aucunement de la forme et de l'étendue en longueur des aciers.

A une condition pourtant, c'est que ces filets trouvent vers les extrémités des surfaces polaires suffisantes pour s'y épanouir. Si l'acier est très-long, les pôles élémentaires sont confinés aux extrémités, et les deux courbes d'intensité magnétique sont très-éloi-

---

([1]) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXV, p. 1263; 1874.

gnées l'une de l'autre. Si la longueur décroît, ces courbes se rapprochent sans s'altérer et sans que la quantité de magnétisme change. L'acier diminuant toujours, elles finissent par se rencontrer. A partir de ce moment, elles se pénètrent, se transforment en deux droites opposées, et leur aire qui exprime la quantité de magnétisme diminue. J'explique ces faits en disant que, dans le premier cas, les filets magnétiques ont plus de place qu'il ne leur en faut pour s'épanouir. Quand les courbes se touchent, ils ont justement la place qui leur est nécessaire, et réciproquement le nombre des pôles élémentaires des filets que peuvent recevoir les surfaces polaires est justement égal à celui qui peut être contenu dans la ceinture moyenne. Dans ce cas, l'aimant est parfait : il est plein. Dans le précédent, la surface était imparfaitement remplie. Vient-on maintenant à diminuer encore la longueur, les filets les plus courts disparaissent, parce que leurs deux pôles se réunissent, et la quantité de magnétisme décroît par insuffisance de place pour la distribution des pôles élémentaires. Dans le premier cas, il y avait trop de surface, dans le dernier trop peu. Dans le premier, la ceinture moyenne était trop petite, dans le dernier elle est trop grande, et le cas intermédiaire offre précisément la surface polaire qui convient à la section moyenne, et la section moyenne qui convient à la surface d'épanouissement.

Généralement le barreau n'est aimanté que superficiellement; s'il était aimanté également dans toute sa masse jusqu'à son axe, le nombre des filets magnétiques serait proportionnel à la surface de la section moyenne. On en approche en divisant l'acier en lames minces qu'on aimante séparément et qu'on superpose; le nombre des filets augmente alors proportionnellement au nombre des lames; et comme les surfaces ne changent que par l'augmentation d'épaisseur, elles se trouvent bientôt remplies de magnétisme; les courbes d'intensité se rejoignent au milieu, et l'aimant est plein dans toutes ses dimensions, puisque, d'une part, la section moyenne est aimantée à cœur, et que, de l'autre, les courbes d'intensité remplissent les surfaces extérieures. On voit ainsi pourquoi les faisceaux magnétiques sont supérieurs aux aimants formés avec une seule pièce qui aurait une épaisseur égale à la somme des épaisseurs des lames.

Ces idées conduisent simplement à la théorie des armatures. Quand un aimant est tout fait et qu'on met à la suite un morceau

de fer, un certain nombre de filets magnétiques se prolongent à travers sa masse et, au lieu de finir à la surface de l'acier, viennent se distribuer sur celle du fer. Il est clair que la perte de l'acier doit être égale au gain du fer, et qu'il n'y a eu qu'un simple déplacement.

Réaimantons maintenant l'appareil en le passant dans une bobine traversée par un courant, nous produirons alors une distribution nouvelle. En général, la ligne moyenne ne sera plus au milieu de l'acier, mais plus rapprochée du fer ; l'armature aura enlevé plus de magnétisme, et l'acier qu'elle touche en aura perdu davantage. C'est ce qu'on voit dans le tableau n° 1, qui montre la distribution : 1° quand on a placé l'armature sur l'aimant tout formé ; 2° quand on a réaimanté avec le même nombre d'éléments l'ensemble de l'acier et de l'armature. Or on voit que la perte et le gain ont toujours augmenté par la réaimantation.

Pour savoir maintenant si le magnétisme total a augmenté ou non, il faut distinguer deux cas. Considérons d'abord un aimant dont les surfaces polaires sont suffisantes pour l'épanouissement des pôles élémentaires, ou plus que suffisantes, c'est-à-dire un aimant plein ou incomplétement rempli. Il est évident que l'aimantation de l'acier seul lui avait donné tout le magnétisme qu'il pouvait recevoir dans sa section moyenne, que ce magnétisme était distribué tout entier sur les faces polaires, et qu'une réaimantation avec les armatures placées ne peut rien changer à ces conditions. Tout se bornera à un changement de distribution, et la somme magnétique restera constante ; c'est ce que montre le tableau suivant :

N° 1. — *Quantités de magnétisme réelles, avant et après la réaimantation* $\left(\frac{1}{\alpha}=2,2\right)$.

	Armature de 10cq.		Armat. de 17cq,5.		2 arm. de 17cq,5.		Armat. de 34cq.	
	Avant.	Après.	Avant.	Après.	Avant.	Après.	Avant.	Après.
Aimant armé....	104,0	94,0	93,9	67,7	86,0	70,4	76,6	59,4
Armature.......	60,1	70,1	69,3	88,5	88,4	118,7	93,3	129,6
Somme.	164,1	167,5	163,2	156,2	175,1	189,1	171,9	189,0
Aimant nu observé.	163,4		155,9		176,9		169,0	

On peut varier l'expérience comme il suit : aimanter d'abord le système mixte de l'acier et de son armature avec un nombre donné d'éléments, puis enlever l'armature et observer l'aimant nu, et enfin

replacer l'armature sur cet aimant. C'est la même méthode en intervertissant l'ordre des opérations. Les expériences ont été faites en augmentant progressivement le nombre des éléments qui produisaient la réaimantation, et en conservant une même armature de $17^{cq},5$. Ici encore le magnétisme total reste le même avant et après la réaimantation.

N° 2. — *Quantités de magnétisme réelles avant et après la réaimantation* (armature de $17^{cq},5$; $\alpha = 2,3$).

	Première aimantation.		Deuxième, 5 éléments.		Troisième, 10 éléments.		Quatrième, 20 éléments.	
	Avant.	Après.	Avant.	Après.	Avant.	Après.	Avant.	Après.
Aimant armé....	86,0	55,8	80,9	58,6	86,9	62,8	98,2	71,7
Armature.......	58,0	99,1	79,9	101,4	84,6	113,3	90,0	118,4
Somme......	144,0	154,9	160,8	160,0	171,5	176,1	188,2	190,1
Aimant nu observé.	144,4		160,0		168,6		177,3	

Mais si l'aimant étudié était plus court, si ses surfaces polaires étaient insuffisantes pour recevoir tout le magnétisme qui peut traverser la ceinture moyenne, dans ce cas l'addition des armatures de fer ajoutera ce qui manquait de surface à l'acier : le magnétisme sera donc augmenté et, si ces armatures sont suffisantes, l'ensemble prendra la même somme de magnétisme qu'un aimant d'acier simple qui aurait une longueur suffisante. Dans le tableau suivant on voit des aciers courts qui prenaient, étant aimantés seuls, des quantités de magnétisme 168,7, 172,9, 158,8, recevoir, étant armés et réaimantés, les quantités beaucoup plus grandes 230,5, 241,1, 217,4. On peut donc, en aimantant l'acier armé, quand il est court, lui communiquer une plus grande somme de magnétisme que s'il n'est point armé, et cela parce qu'on lui donne une surface extérieure suffisante pour laisser épanouir le magnétisme dont il est capable par l'étendue de sa section moyenne.

N° 3. — *Aimants sursaturés, quantités de magnétisme réelles avant et après la réaimantation*

(longueur : $L = 17^{c},5$; $\frac{1}{\alpha} = 2,2$).

	Première aimantation.		Deuxième, 20 éléments.		Acier au wolfram, L = 25.	
	Avant.	Après.	Avant.	Après.	Avant.	Après.
Aimant armé.........	92,6	119,2	95,2	126,9	73,5	100,5
Armature.....	76,7	111,3	78,1	114,2	89,4	116,9
Somme..........	169,3	230,5	173,3	241,1	162,9	217,4
Aimant nu observé....	168,7		172,9		158,8	

Ces faits expliquent très-bien des phénomènes qu'on avait assimilés à tort à la condensation électrique. Je suppose qu'on aimante séparément les diverses lames d'un faisceau, puis qu'on les place l'une après l'autre contre leur armature commune, on trouvera une somme déterminée de magnétisme. Or plusieurs physiciens ont annoncé que la présence de l'armature augmente le magnétisme des lames, que ce magnétisme diminue quand on l'enlève et qu'il y a une condensation ; d'autres ont soutenu que cette condensation n'existait pas. Les uns et les autres ont à la fois tort et raison : il y a augmentation quand la surface extérieure des lames était primitivement insuffisante, et il n'y en a pas quand cette surface suffisait par elle-même à l'épanouissement de tous les filets magnétiques.

On trouve encore ici la véritable explication d'un autre fait, que j'ai attribué moi-même inexactement à une condensation. J'avais superposé un grand nombre de lames en fer à cheval contre un contact commun; puis je les avais aimantées, ce qui leur avait donné un magnétisme énorme, qui se mesurait par la force portative au premier arrachement. Après quoi, sans réaimantation nouvelle, je replaçai le contact, et je trouvai une force d'arrachement considérablement moindre, mais qui se maintenait à peu près fixe pour les arrachements suivants. L'aimant en question avait des surfaces insuffisantes; le contact, agissant comme des armatures, les augmentait et maintenait la somme du magnétisme que ces lames pouvaient prendre individuellement. Après un premier arrachement, elles ne contenaient plus que le magnétisme qu'elles sont capables de garder, et le second arrachement se trouvait très-affaibli; mais, si l'on répète l'expérience avec un moins grand nombre de lames, assez petit pour que l'aimant total soit imparfaitement rempli, il n'y a plus de différence entre le premier arrachement et les suivants.

La différence que l'on trouve entre le premier et le second arrachement est même un signe auquel on reconnaîtra si l'aimant que l'on construit est dépassé ou non. Tant qu'elle n'existera pas ou qu'elle sera très-faible, on pourra ajouter de nouvelles lames et gagner de la puissance. Aussitôt qu'elle se montrera avec intensité, on aura atteint et dépassé l'aimant plein : toute addition nouvelle se ferait en pure perte.

On est conduit par là à une importante modification dans la construction des aimants. Je suppose que l'on ait un grand nombre de lames, et qu'après les avoir aimantées séparément à saturation on les superpose, on verra croître le magnétisme du faisceau jusqu'à une limite qui ne pourra être dépassée, et qui sera atteinte quand les surfaces polaires seront remplies. Supposons qu'il faille dix lames. Recommençons la même expérience, en appliquant les mêmes lames contre deux armatures en fer de grande surface ; les intensités croîtront beaucoup plus lentement, parce que la somme des magnétismes se répandra sur des étendues plus considérables, et la limite ne sera obtenue que lorsque ces étendues seront pleines. Il faudra pour cela superposer vingt, trente, quarante lames, et en général un nombre d'autant plus élevé que les armatures seront plus grandes. La force totale de l'aimant s'augmentera donc avec ses armatures. La Société a sous les yeux un faisceau construit de cette manière. Sans armature, on atteint la limite avec trois lames, et la force portative est de 4 kilogrammes environ ; avec des armatures de 350 centimètres carrés, on arrive à 140 kilogrammes ; mais l'intensité sur chaque élément superficiel n'est pas augmentée.

SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1875.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

MM. Golaz, constructeur d'instruments de Physique, et Deschiens, constructeur d'instruments de Physique, sont élus membres de la Société.

M. Gernez rappelle quelques-unes des expériences par lesquelles il a démontré la nécessité d'une atmosphère gazeuse pour provoquer le dégagement des vapeurs ou des gaz dissous dans un liquide.

Les mêmes principes s'appliquent à la décomposition de certains corps explosibles, tels que le liquide bleu que l'on obtient en versant dans l'eau de l'acide hypoazotique. Ce corps se décompose aussitôt qu'on y introduit une bulle d'un gaz étranger.

M. Deleuil présente un électro-aimant d'une forme particulière, qu'il a construit pour extraire les parcelles de fer qui sont disséminées dans des poussières ou suspendues dans des liquides. Voulant soustraire la bobine à l'action du liquide, il imagina de la placer dans l'intérieur d'une enveloppe de fer doux, mais il ne put produire aucune aimantation; il obtint au contraire un excellent résultat en plaçant dans l'intérieur de la bobine un noyau de fer doux, dont les deux bouts sont recourbés et séparés l'un de l'autre à l'extérieur par un anneau de cuivre.

M. Quet fait remarquer que la non-aimantation d'une enveloppe de fer doux sous l'influence d'une bobine intérieure est une conséquence de la théorie d'Ampère et un phénomène connu depuis longtemps. L'armature de fer doux s'aimante en réalité, mais elle devient un aimant égal et de signe contraire à la bobine, de sorte que l'action de l'ensemble sur un point extérieur est nulle.

M. Marié-Davy présente à la Société des cartes météorologiques de M. Hoffmeyer, directeur de l'Institut météorologique danois, et des cartes américaines dressées par des procédés analogues, et il donne quelques détails sur l'intérêt que présente ce genre d'observations.

M. Mouton explique comment la méthode employée par M. Wiedemann pour déterminer les éléments de la polarisation elliptique de la lumière peut se ramener simplement à celles de de Senarmont et de M. Jamin.

La séance est levée à 10 heures.

Description d'un nouvel électro-aimant, pour enlever des pâtes de porcelaine les parcelles d'oxyde magnétique qu'elles contiennent; par M. Deleuil.

Cet électro-aimant devant toujours rester plongé au milieu des pâtes, il fallait nécessairement garantir l'électro-aimant, pour que le liquide ne pénétrât pas dans les spires du fil de la bobine; j'ai donc construit cet électro-aimant avec l'âme, les deux extré-

mités et l'armature extérieure en fer, mais ne recouvrant l'hélice que sur une partie. Les extrémités de l'armature extérieure sont séparées par une bague en laiton, représentant le tiers de la longueur. Les pôles sont donc circulairement en regard l'un de l'autre; les spires de l'hélice sont parfaitement garanties; lors du passage du courant, on obtient, comme effet, une masse magnétique qui, plongée dans de la limaille de fer, se recouvre de tous côtés d'une chevelure très-épaisse et très-adhérente. Tant qu'a lieu le passage du courant, cette pièce, plongée dans les pâtes, retient avec une grande facilité tout l'oxyde magnétique, qui peut être entraîné lors de l'écoulement du liquide.

Analogies que présentent les dégagements des gaz de leurs solutions sursaturées et la décomposition de certains corps explosibles; par M. D. Gernez.

J'ai depuis longtemps établi [1] que, dans les solutions gazeuses sursaturées, l'excès de la quantité du gaz dissous sur la quantité normale, c'est-à-dire sur celle que le liquide dissoudrait dans les mêmes conditions de température et de pression, ne se dégage, dans le cas où l'on ne fait pas intervenir d'action mécanique, qu'autant qu'on introduit au sein du liquide une atmosphère gazeuse quelconque, retenue, par exemple, à la surface d'un corps solide, ou dans les cavités capillaires d'un corps poreux, et qui joue le rôle d'un espace vide par rapport au gaz étranger retenu en dissolution.

En dissolvant au préalable, par des lavages successifs, à la potasse, à l'eau distillée bouillante et à l'alcool, la couche superficielle des vases de verre en certains points de laquelle serait retenue une petite quantité d'air, j'ai reconnu qu'il ne se forme plus une seule bulle gazeuse sur la paroi baignée par le liquide, pas plus qu'à l'intérieur de la solution sursaturée, entre des limites de température et de pression très-étendues.

L'émission du gaz ne se fait plus alors que par la surface libre

[1] *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXIII, p. 883; 19 novembre 1866.

d'azote provenant de la destruction de l'acide azoteux semblent alors sortir de la cloche comme dans le cas de la solution d'ammoniaque. Cet effet d'une atmosphère gazeuse qui décompose l'acide azoteux peut être observé même à la température de zéro; dans ce cas, le dégagement du bioxyde d'azote est moins rapide.

Sur la polarisation elliptique; par M. L. Mouton.

On sait qu'un rayon elliptique peut être considéré comme résultant de la composition de deux rayons polarisés rectilignement dans la direction des axes de l'ellipse et présentant une différence de phase de $\frac{\pi}{2}$ ou, ce qui revient au même, une différence de marche de $\frac{\lambda}{4}$, λ étant la longueur d'onde de la lumière considérée (1).

Il suit de là qu'une lame mince d'épaisseur, telle qu'elle introduise, entre le rayon polarisé dans sa section principale et le rayon polarisé perpendiculairement, une différence de marche de $\frac{\lambda}{4}$, placée normalement sur le trajet d'un rayon elliptique, le ramènera à la polarisation rectiligne, quand sa section principale coïncidera avec l'un des axes de l'ellipse.

C'est un procédé qu'a employé de Senarmont pour déterminer les éléments d'un rayon elliptique.

La difficulté de tailler une lame exactement quart d'onde pour une lumière donnée, l'obligation où l'on est ensuite de ne l'employer que pour cette lumière conduisent à se demander ce que produirait, sur un rayon elliptique de longueur d'onde donnée, l'interposition d'une lame mince un peu différente du quart d'onde de cette lumière.

(1) De Senarmont, *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. LXIII, p. 345; Jamin, *idem*, 3e série, t. XIX, p. 321 et suiv.; Jamin, *Cours de Physique*, t. III, p. 631; Billet, *Traité d'Optique physique*, t. II, p. 56.

Voyons pour cela comment varie la différence de phase du système rectangulaire constituant le rayon elliptique, lorsque ce système tourne autour du centre de l'ellipse.

Pour plus de simplicité, partons avec M. Jamin du mouvement rapporté aux axes de l'ellipse ([1]), on a

$$x = a\cos 2\pi\frac{t}{T},$$

$$y = b\cos\left(2\pi\frac{t}{T} - \frac{\pi}{2}\right) = b\sin\pi\frac{t}{T}.$$

Si l'on fait tourner les axes d'un angle ω, qu'on applique les formules de transformation connues et qu'on mette les mouvements sous la forme ordinaire,

Fig. 1.

$$x' = A\cos\left(2\pi\frac{t}{T} + \delta'\right),$$

$$y' = B\cos\left(2\pi\frac{t}{T} + \delta''\right).$$

on a

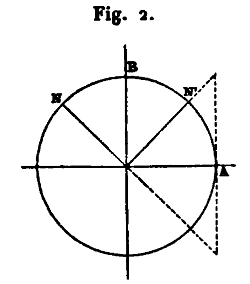
$$\text{tang}(\delta' - \delta'') = -\frac{2ab}{a^2 - b^2}\,\frac{1}{\sin 2\omega}.$$

La discussion de ce résultat n'offre aucune difficulté. Elle montre que l'arc $\delta' - \delta''$, partant de $\frac{\pi}{2}$ pour $\omega = 0$, croît jusqu'à une cer-

([1]) *Cours de Physique*, t. III, p. 632.

taine valeur ABN, dont la tangente est $\frac{2ab}{a^2-b^2}$, et qui correspond

Fig. 2.



à $\omega = 45°$; il revient ensuite à $\frac{\pi}{2}$ pour $\omega = 90°$, décroît jusqu'à AN' de tangente $\frac{2ab}{a^2-b^2}$ qu'il atteint pour $\omega = 45° + 90°$, et retourne enfin à $\frac{\pi}{2}$ pour $\omega = 180°$. De plus, l'arc $\delta' - \delta''$ reprend les mêmes valeurs pour $\omega = 45° \pm \alpha$, ou $\omega = 135° \pm \alpha$.

En résumé, la différence de phase prend une valeur maximum et un minimum, tous deux également distants de $\frac{\pi}{2}$, l'un en plus, l'autre en moins; elle les atteint lorsque le système d'axes se confond avec les bissectrices des axes de l'ellipse, et elle prend les mêmes valeurs pour deux orientations également inclinées sur ces bissectrices [1].

Il résulte de ce qui précède que, si sur le trajet d'un rayon elliptique on interpose une lame mince plus voisine de $\frac{\pi}{2}$ que les valeurs extrêmes que peut prendre l'anomalie des composantes de ce rayon, on trouvera deux orientations de cette lame pour lesquelles la polarisation plane sera rétablie, et elles seront également inclinées sur l'une des bissectrices des axes de l'ellipse.

Sans que j'insiste davantage, on voit qu'une plaque mince très-peu supérieure au $\frac{\lambda}{4}$ rouge, par exemple, pourra servir dans la grande

---

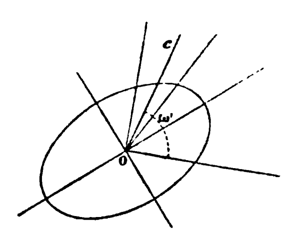
[1] Billet, *Traité d'Optique physique*, p. 64, donne un tableau où se constatent facilement ces résultats.

majorité des cas; la lumière elliptique à laquelle elle ne s'appliquerait pas serait circulaire ou à peu près.

Reste à voir comment nous tirerons de là les éléments que l'on détermine ordinairement du rayon elliptique.

Les limites imposées à cet article m'obligent à être bref : je ne donnerai que les calculs, sans insister sur des détails que l'on complétera sans peine.

Fig. 3.



Soient ω_1 et ω_2 les angles que font, avec une direction quelconque OX prise pour origine, deux orientations autour de la bissectrice OC, pour lesquelles notre plaque a rétabli la polarisation rectiligne; l'angle ω' de OC avec OX sera $\omega' = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$.

Or, si nous appelons δ la différence de phase selon deux plans principaux donnés, suivant lesquels nous décomposons les mouvements elliptiques, et tang α le rapport $\frac{b}{a}$ des amplitudes suivant ces deux plans, on a la relation

$$\cot 2\omega' = -\operatorname{tang} 2\alpha \cos\delta \text{ (1)},$$

d'où, dans le cas actuel,

$$\cot(\omega_1 + \omega_2) = -\operatorname{tang} 2\alpha \cos\delta.$$

Mais le Nicol analyseur, en même temps qu'il nous indiquera le rétablissement de la polarisation rectiligne dans l'azimut ω_1, par exemple, nous donnera l'angle ψ_1 que fait la vibration rectiligne rétablie avec la direction ω_1. Or, si l'on appelle A_1 et B_1 les amplitudes rapportées à cet azimut ω_1, on a la relation connue

$$\operatorname{tang}^2 \psi_1 = \frac{B_1^2}{A_1^2},$$

(1) JAMIN, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XIX, p. 325.

avec les suivantes (¹) :

$$(2)\quad \begin{cases} A_1^2 = \sin^2\alpha \sin^2\omega_1 + \cos^2\alpha \cos^2\omega_1 + \dfrac{1}{2}\sin 2\alpha \sin 2\omega_1 \cos\delta, \\ B_1^2 = \sin^2\alpha \cos^2\omega_1 + \cos^2\alpha \sin^2\omega_1 - \dfrac{1}{2}\sin 2\alpha \sin 2\omega_1 \cos\delta, \end{cases}$$

et nous sommes finalement conduits à tirer du système formé par les trois équations ci-dessus et celle trouvée plus haut,

$$(1)\qquad \cot(\omega_1 + \omega_2) = -\operatorname{tang} 2\alpha \cos\delta,$$

les valeurs de α et de δ en fonction des données d'observation ω_1, ω_2 et ψ_1.

Avant de faire cette détermination, je ferai remarquer qu'à l'orientation ω_2 correspond aussi un angle ψ_2, analogue à ψ_1 ; mais on voit sans peine que cet angle ψ_2 est complémentaire de ψ_1, et qu'il nous conduirait à des relations rentrant dans les précédentes.

Reste donc à résoudre le système précédent.

La première des équations (2) peut s'écrire

$$\frac{1 - \operatorname{tang}^2\psi_1}{1 + \operatorname{tang}^2\psi_1} = \frac{A_1^2 - B_1^2}{A_1^2 + B_1^2} = \frac{A_1^2 - B_1^2}{1}$$

ou

$$\cos 2\psi_1 = A_1^2 - B_1^2,$$

et, d'après les deux autres,

$$\cos 2\psi_1 = \cos 2\omega_1 \cos 2\alpha + \sin 2\alpha \sin 2\omega_1 \cos\delta,$$

relation à laquelle il faut joindre

$$\cot(\omega_1 + \omega_2) = -\operatorname{tang} 2\alpha \cos\delta.$$

De la première, en tenant compte de celle-ci, on tire

$$\begin{aligned} \frac{\cos 2\psi_1}{\cos 2\alpha} &= \cos 2\omega_1 - \sin 2\omega_1 \cot(\omega_1 + \omega_2) \\ &= \cos 2\omega_1 - \sin 2\omega_1 \frac{\cos 2\omega_1 + \cos 2\omega_2}{\sin 2\omega_1 + \sin 2\omega_2} \\ &= \frac{\sin 2(\omega_2 - \omega_1)}{\sin 2\omega_1 + \sin 2\omega_2} = \frac{2\sin(\omega_2 - \omega_1)\cos(\omega_2 - \omega_1)}{2\sin(\omega_2 + \omega_1)\cos(\omega_2 - \omega_1)} \\ &= \frac{\sin(\omega_2 - \omega_1)}{\sin(\omega_2 + \omega_1)}, \end{aligned}$$

(¹) JAMIN, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XIX, p. 323.

d'où

$$\cos 2\alpha = \frac{\cos 2\psi_1 \sin(\omega_2 + \omega_1)}{\sin(\omega_2 - \omega_1)},$$

formule calculable par logarithmes et qui donnera α; on tirera ensuite δ.

Je n'insiste pas sur les questions de détail, tels que signes, etc.; je renvoie pour cela au Mémoire de de Senarmont, où ces difficultés secondaires se présentent et se résolvent d'une manière analogue.

On devine sans peine comment ce procédé, qui revient en fin de compte à éliminer le retard dû à la lame mince, s'applique même à une lumière non homogène. Que l'analyseur soit en effet suivi d'un spectroscope, quand une bande noire apparaîtra dans le spectre à la place d'une couleur déterminée, les calculs précédents nous donneront la différence de phase et le rapport des intensités des composantes du rayon elliptique de cette couleur.

L'idée de cette extension de la méthode de de Senarmont appartient à M. Eilhard Wiedemann, qui l'a appliquée à des études de lumière réfléchie; on trouvera dans son Mémoire ([1]) tous les détails de son expérimentation, des résultats de laquelle il a été rendu compte dans le *Journal de Physique*. Seulement M. Wiedemann n'arrive aux formules qui lui permettent de calculer la différence de phase et le rapport des amplitudes des deux composantes du rayon elliptique que par un calcul incontestablement original, mais long et de toutes pièces; j'ai pensé qu'il ne serait peut-être pas sans intérêt de montrer qu'on arrive à des résultats même plus simples par une application toute naturelle des formules des physiciens français.

([1]) *Annales de Poggendorff*, t. CLIII.

SÉANCE DU 5 MARS 1875.

PRÉSIDENCE DE M. FIZEAU.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

MM. Marié-Davy, directeur de l'Observatoire de Montsouris, et Antoine Bréguet sont élus membres de la Société.

M. Bertin communique les résultats de ses recherches au sujet des cristaux dits *idiocyclophanes,* qui donnent lieu à des anneaux isochromatiques ou à des lignes neutres diversement colorées, sans qu'il soit nécessaire de polariser ni d'analyser la lumière qui les traverse.

Ces phénomènes, dont quelques-uns ont été signalés depuis longtemps, ne se présentent que dans les cristaux polychroïques à deux axes; M. Bertin cite entre autres l'épidote, l'andalousite, l'azotate de strontiane, l'arragonite, etc., et décrit les différentes particularités qu'on y observe. Il montre ensuite quelques cristaux qui ont été taillés par M. Bertrand dans des directions convenables pour reproduire artificiellement les mêmes phénomènes.

M. Gaspari présente à la Société un volume publié par le Dépôt de la Marine sur l'étude des mouvements de l'atmosphère et des courants de l'Océan. M. Gaspari donne quelques détails sur les matières contenues dans cet ouvrage et sur l'utilité qu'il présente au point de vue de la navigation.

M. Cornu expose la théorie des phénomènes de diffraction dissymétrique que présentent certains réseaux irréguliers. Si les traits d'un réseau, au lieu d'être absolument équidistants, présentent des séries périodiques, dans lesquelles un certain nombre d'intervalles varient comme les distances successives des anneaux de Newton, les rayons diffractés provenant d'un faisceau de rayons incidents parallèles, ne sont plus parallèles entre eux, mais donnent lieu à un foyer réel ou virtuel, suivant que l'on observe le phénomène à droite ou à gauche de la lumière incidente. M. Cornu indique les lois suivant lesquelles se produisent ces foyers accidentels, et il cite quelques expériences dans lesquelles il a provoqué ce phénomène à

volonté en construisant des réseaux dont les intervalles étaient ainsi modifiés d'une manière systématique.

La séance est levée à 10 heures.

SÉANCE DU 19 MARS 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Planté adresse à la Société une lettre pour réclamer la priorité de l'observation faite par M. Ducretet à la séance du 29 janvier sur la résistance considérable des voltamètres à électrodes d'aluminium.

M. Lartigue décrit un appareil qu'il a imaginé pour transmettre des signaux à un train en marche, en particulier pour empêcher un train de s'engager sur une voie qui n'est pas libre.

M. Lartigue décrit aussi un interrupteur à mercure, à l'aide duquel on peut ouvrir ou fermer un circuit par un simple mouvement de bascule, et il indique quelques-unes des applications de cet ingénieux appareil.

M. Marié-Davy présente les résultats des observations d'électricité atmosphérique effectuées à l'Observatoire de Montsouris. Cette communication donne lieu à une courte discussion sur la nature des phénomènes électriques de l'atmosphère et sur les méthodes d'observation.

M. Jamin communique les résultats de ses expériences relatives à l'aimantation de l'acier sous l'influence des courants électriques successifs, de même sens ou de sens contraire. Les phénomènes curieux qu'il a observés s'expliquent en admettant que la profondeur de l'aimantation est en raison de l'intensité du courant, de sorte que l'on peut obtenir ainsi des couches successives alternativement aimantées en sens contraire. On met d'ailleurs ces couches en évidence en attaquant la surface de l'aimant par un acide; et, si l'on ménage convenablement les surfaces attaquées, on produit à volonté les effets les plus variés d'aimantation, par exemple des barreaux

qui, suivant la distance, attirent ou repoussent l'un des pôles d'une aiguille aimantée.

« Paris, 12 mars 1875.

» Monsieur le Président,

» A l'occasion des intéressantes expériences présentées dernièrement par M. Ducretet à la Société française de Physique, permettez-moi de rappeler que j'ai observé, en 1859, le phénomène de l'arrêt d'un courant électrique par un voltamètre à électrodes d'aluminium, et que je l'ai signalé dans un travail sur la polarisation voltaïque, comprenant l'étude des nombreux phénomènes produits par les divers métaux dans les voltamètres.

Les conclusions de ce travail ont été présentées à l'Académie des Sciences le 19 septembre 1859, et le Mémoire complet a été remis le 7 novembre de cette même année.

On peut lire dans les *Comptes rendus* de 1859, t. XLIX, pages 402 et 403, le passage suivant :

« Les effets de diminution que l'interposition d'un voltamètre à » fils de même métal et à eau acidulée fait subir à un courant » électrique ne proviennent pas seulement de la résistance nou- » velle à franchir et du courant secondaire inverse qui peut » prendre naissance, mais ils sont produits aussi et souvent en » plus grande partie par la mauvaise conductibilité de l'oxyde » formé.

. . . .

» L'intensité du courant principal dépend encore du degré de » solubilité de l'oxyde formé. Si l'oxyde se dissout aisément dans » l'eau acidulée, le courant qui avait diminué au moment de sa » formation reprend aussitôt que la dissolution commence.

» Si l'oxyde est insoluble et mauvais conducteur, le courant est » presque entièrement arrêté : c'est ce que l'on observe très-nette- » ment avec l'aluminium dans l'eau acidulée.

» Mon Mémoire complet sur la polarisation voltaïque n'a été inséré *in extenso* dans aucun recueil ; mais il peut être consulté dans les archives de l'Académie, et l'on y trouve le passage suivant :

§ V. — *Fils d'aluminium.*

« L'aluminium montre d'une manière évidente l'affaiblissement

» qui peut résulter pour le courant principal de l'insolubilité de
» l'oxyde formé dans les voltamètres.

» Deux couples donnent avec ce métal une forte déviation; » mais elle s'anéantit très-vite, et il ne passe plus qu'un courant » très-faible. On peut prouver que cette diminution est bien due à » la mauvaise conductibilité, et à l'insolubilité de l'oxyde.

» On constate d'abord que, lorsque le courant est très-affaibli, si » on l'interrompt, puis qu'on le rétablisse, il ne regagne point son » intensité primitive.

» Cela étant, si on remplace le fil positif par un fil neuf ou fraî» chement décapé, on observe une très-forte déviation qui s'an» nule à son tour.

» Le changement du fil négatif ne produit qu'une augmentation » à peine sensible. Le fil positif, enlevé et examiné une fois que la » diminution du courant a été produite, n'a point changé de cou» leur ni d'aspect, quoiqu'il soit évidemment oxydé.

» Lavé, essuyé fortement et remis dans le voltamètre, il ne per» met pas plus facilement le passage du courant; il faut le décaper » au papier de verre pour observer de nouveau une forte déviation » momentanée.

» Le courant secondaire est extrêmement faible avec ce métal, » en sorte qu'on ne peut pas y voir la source de la forte diminu» tion du courant principal. »

» La Bibliothèque universelle de Genève contient aussi une analyse du même travail que l'on peut consulter : tome VIII, nouvelle période, 1860, p. 292 et suivantes.

» Ces citations n'enlèvent point à M. Ducretet le mérite des applications qu'il a eu l'heureuse idée de faire du phénomène en question. Je me borne à vous les adresser, pour l'intérêt que peut présenter la date de ces observations, et je vous prie, monsieur le Président, d'agréer, etc. Gaston Planté. »

L'électro-aimant Hughes. — Diverses applications;
par M. Lartigue.

La solution pratique de certains problèmes implique la possibilité de produire à distance des effets mécaniques déterminés, pour

lesquels l'emploi de l'électricité est tout naturellement indiqué; mais les électro-aimants ordinaires sont parfois insuffisants. A moins d'être dans des circuits très-courts et actionnés par des piles énergiques, ils n'ont qu'une force relativement minime; en outre, ils agissent dans les conditions les plus défavorables, puisque, au moment où ils ont à produire le plus grand effort pour donner à leur palette le mouvement initial, celle-ci est au point le plus éloigné. Or on sait que l'action magnétique diminue avec la distance, suivant une progression très-rapide. Comme conséquence, on doit donner à cette palette une course très-limitée. Pour multiplier les effets de ces électro-aimants, on est amené à se servir de relais avec piles locales, ou de mécanismes plus ou moins compliqués.

M. le professeur américain Hughes a employé pour son télégraphe-imprimeur une disposition qui permet d'obtenir directement une action d'une énergie considérable, on pourrait presque dire indéfinie. Cet aimant ne développe pas directement une force, mais il permet à une force tenue en réserve, emmagasinée, d'agir à un moment donné avec toute son intensité.

Il est composé d'un aimant fixe en fer à cheval dont les branches sont prolongées par des cylindres de fer doux entourés de bobines. Ces cylindres ou noyaux deviennent les véritables pôles de l'aimant et maintiennent une palette au contact.

En faisant passer dans les bobines un courant de sens inverse de celui qui produirait une aimantation de même espèce que celle de l'aimant, on affaiblit celui-ci; il laisse échapper alors la palette sous l'action d'une force antagoniste (poids ou ressort) que l'on peut utiliser comme moteur.

On comprend que cette force n'a d'autre limite que celle de la puissance attractive de l'aimant qui doit la contre-balancer pour retenir la palette. Cette puissance peut être très-grande, plusieurs centaines de kilogrammes, avec les aimants que l'on est parvenu à construire; du reste, la force antagoniste est facilement multipliée par les procédés les plus simples.

On peut donc produire à distance et instantanément des effets mécaniques déterminés très-considérables, pourvu qu'après chaque effet produit la force antagoniste soit restituée par un moteur quelconque et la palette ramenée au contact de l'électro-aimant.

Par conséquent, dans les appareils fondés sur l'emploi de l'électro-aimant Hughes, trois forces sont mises en jeu :

1° La force à utiliser, dont l'action est préparée, qui est emmagasinée par un moteur quelconque;

2° La puissance attractive de l'aimant qui contre-balance cette force;

3° L'électricité qui rompt l'équilibre de ces deux forces et, en affaiblissant la seconde, permet à la première de produire ses effets.

Si la différence entre l'attraction de l'aimant et la force antagoniste est convenablement calculée, il suffira de développer dans les noyaux des bobines une contre-aimantation très-faible; et en effet les éléments de pile qu'on emploie sont disposés en tension, et leur nombre dépend uniquement de la distance à laquelle on veut agir, en un mot, de la longueur du circuit.

L'électro-aimant Hughes a en outre, sur les électro-aimants ordinaires, l'avantage de fonctionner au passage de courants que l'on peut dire instantanés : il ne s'agit pas, en effet, d'attirer une palette sous l'influence d'une force qui doit persister pendant tout le temps de l'attraction; l'électricité, dans l'aimant Hughes, ne sert qu'à interrompre un instant une action permanente et agit, par conséquent, comme le ferait un coup de ciseaux qui trancherait un fil portant un poids, lequel tomberait ensuite sous l'influence et selon les lois de la pesanteur.

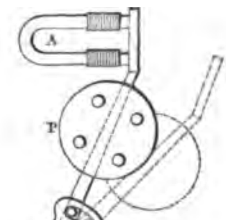
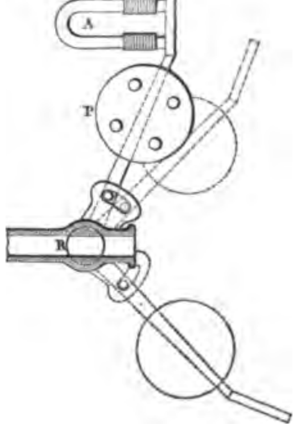
Pour se rendre compte de cette instantanéité, il suffit de se rappeler le nombre prodigieux de lettres imprimées par minute avec le télégraphe Hughes, malgré la multiplicité des actions indépendantes de l'électricité qui concourent à l'impression de chacune d'elles.

En dehors de l'emploi qui en a été fait par le savant inventeur pour son télégraphe, nous ne croyons pas que l'électro-aimant Hughes ait été pratiquement utilisé avant les applications que nous en faisons nous-même depuis quelques années. Nous allons succinctement en indiquer quelques-unes :

1° *Ouverture ou fermeture des robinets, soupapes, valves, clapets, etc.* — Lorsqu'il s'agit d'un gaz ou d'un liquide sous faible pression, le problème est très-simple; il suffit de fixer sur la clef d'un robinet R (*fig.* 1) un levier à contre-poids P, muni d'une palette qu'un électro-aimant Hughes A maintient en équilibre instable, et qui tombe lorsque se produit la désaimantation au passage d'un courant envoyé automatiquement ou à volonté.

Sous forte pression, pour ne pas être obligé d'employer de trop

Fig. 1.

grands aimants, il est bon d'adopter la forme de clapets avec piston de contre-pression.

2° *Sifflet électro-automoteur des locomotives.* — Une des questions les plus importantes, relatives à la sécurité de l'exploitation des chemins de fer, est celle des signaux. Les appareils des signaux d'après lesquels les mécaniciens règlent leur marche sont des pièces mobiles, disques ou bras, qui, dans une position, indiquent *voie libre* et dans l'autre commandent l'*arrêt;* mais si, pour une raison quelconque, ils ne sont pas aperçus, toute garantie disparaît.

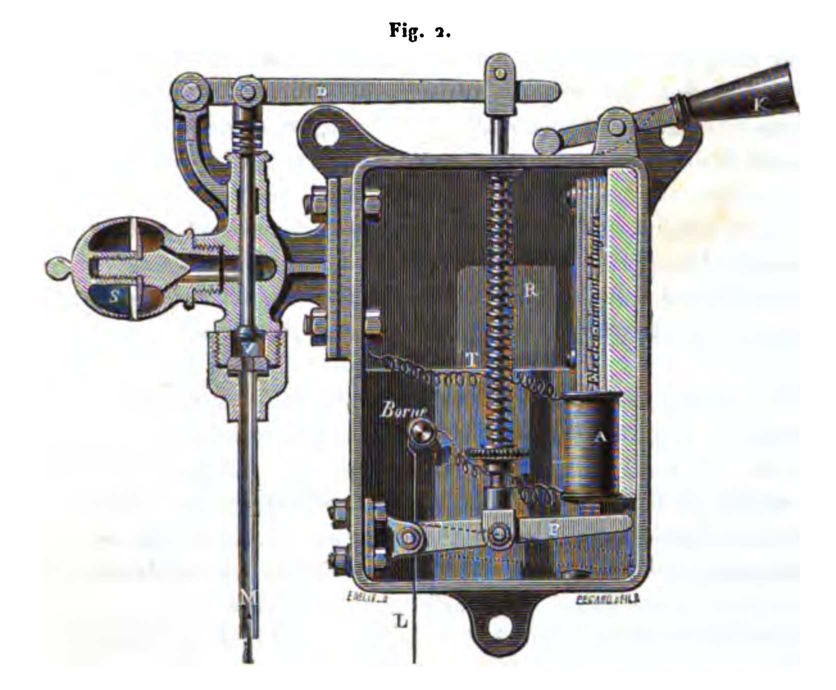
On avait souvent cherché à confirmer le signal à vue par un signal acoustique, mais sans succès pratique. L'emploi de l'électricité avec l'électro-aimant Hughes nous a permis d'obtenir le résultat désiré, au moyen de la disposition suivante :

S est un sifflet à vapeur dont la soupape V (*fig.* 2) est manœuvrée par le levier D. Avec ce levier et un second levier parallèle P est articulée une tringle R munie d'un ressort à boudin, qui tend constamment à l'abaisser. Le second levier P porte, à l'extrémité de sa volée, une palette que maintient collée un aimant Hughes A. Si cet aimant vient à être affaibli, le ressort agit, les leviers et par suite la soupape sont abaissés, et la vapeur fait fonctionner le sifflet.

L'appareil, complété par une boîte-enveloppe de fonte, est fixé sur la locomotive en face du mécanicien.

La source d'électricité qui doit faire agir le sifflet est une pile placée près du signal à vue, et qui est utilisée en outre pour faire

Fig. 2.



marcher une sonnerie de contrôle aux abords du levier qui manœuvre le signal. Quand celui-ci est à la position d'arrêt, une communication est établie entre la pile et une pièce nommée *contact fixe,* ou vulgairement *crocodile,* posée longitudinalement à une hauteur convenable entre les rails à une distance déterminée en avant du signal. Cette pièce est une poutre de bois fixée par des pieds de fonte sur les traverses de la voie, et garnie sur sa face supérieure d'une plaque métallique à laquelle aboutit le fil de pile.

Sous la machine, et en relation par un fil isolé avec la bobine de l'électro-aimant, est portée une brosse ou balai métallique qui, au passage, frotte énergiquement sur le *crocodile.*

Quand le signal indique *voie libre,* la pile étant isolée de la plaque du contact, il ne se produit aucun effet; si, au contraire, le signal est à l'*arrêt,* quelle que soit la vitesse de la marche, un circuit instantané s'établit, et le sifflet fonctionne jusqu'à ce que le mécanicien, en appuyant sur la manette K, relève le levier D, ferme

la soupape et colle de nouveau la palette du levier P contre l'électro-aimant.

Le sifflet électro-automoteur est placé depuis près de deux ans sur un grand nombre de locomotives du chemin de fer du Nord.

Il est aussi utilisé pour donner des signaux dans des ateliers, dans des mines, sur des bâtiments à vapeur, partout où l'on peut avoir à produire, même automatiquement, à distance un appel énergique et continu.

Avec une modification de forme et en le combinant avec un mouvement d'horlogerie, on a songé à s'en servir dans quelques phares pour donner à distance, au moyen d'une trompette à vapeur, des signaux acoustiques confirmatifs et supplémentaires des signaux lumineux.

3° *Déclic électrique*. — Nous avons utilisé les propriétés de l'aimant Hughes pour produire soit automatiquement, soit à volonté, des embrayages ou des débrayages, des serrages ou des desserrages de freins, de treuils, de monte-charges, etc. On a parlé l'année dernière, quoique assez inexactement, de ce qui avait été proposé pour la manœuvre des décors de théâtres et des applications en cours d'expériences faites au nouvel Opéra ([1]).

4° *Électro-sémaphores* ([2]). — La possibilité de manœuvrer électriquement à distance des pièces très-lourdes nous a permis d'établir, dans des conditions toutes nouvelles, un système de signaux destinés à protéger les trains en marche et à les annoncer en avant, de façon à rendre toute collision impossible.

Ce mode d'exploitation, que l'on désigne sous le nom de *block-system,* consiste à diviser la voie en sections sur lesquelles deux trains ne peuvent simultanément être engagés. A l'extrémité de chaque section est un poste muni d'appareils de signaux. Aussitôt qu'un train est expédié d'un poste, l'agent ferme la voie derrière lui par un signal d'arrêt et l'annonce en avant au poste suivant : ce n'est que lorsque le train est arrivé à ce second poste que la voie est rendue libre au premier.

Les effets à distance sur les ailes des sémaphores, dont la posi-

---

([1]) Ces trois premières applications ont été faites par nous en collaboration avec M. H. Forest et MM. Digney frères, constructeurs.

([2]) En collaboration avec M. P. Tesse et M. Prud'homme, constructeur.

tion donne les signaux aux mécaniciens, sont produits directement par des déclenchements opérés au moyen de l'électro-aimant Hughes. Les électro-sémaphores fonctionnent sur la ligne de Paris à Creil par Chantilly.

5° *Sonnerie d'urgence* [1]. — Cet appareil tire son nom de l'usage auquel il est principalement destiné, et qui consiste à prévenir l'employé d'un poste télégraphique qu'un appel qu'il reçoit exige une réponse toute affaire cessante.

Il se compose d'un électro-aimant Hughes dont les bobines sont dans le circuit du fil qui réunit à la terre tous les appareils de réception (récepteurs ou sonneries) d'un poste. Tous les courants reçus dans ces appareils traverseront donc les bobines, mais sans produire d'effet s'ils sont d'un sens déterminé.

Mais que l'un des correspondants envoie un courant de sens contraire, l'aimant abandonnera sa palette qui établira le circuit d'une trembleuse spéciale.

L'employé sera donc averti par cette sonnerie qu'un appel d'urgence lui est adressé, en même temps que le fonctionnement de l'appareil récepteur ordinaire lui indiquera d'où émane l'appel.

Nous nous bornerons à ces applications de l'électro-aimant Hughes; mais, d'après ce qui vient d'être dit, il est facile de se rendre compte des services que peut rendre cet ingénieux appareil, trop peu connu et trop longtemps négligé.

Sur la profondeur et la superposition des couches aimantées dans l'acier; par M. J. Jamin.

Il y a déjà plusieurs années [2] j'ai annoncé qu'une lame d'acier aimantée dans un sens direct par un courant très-fort est neutralisée par un courant inverse moins intense. Elle n'est cependant pas à l'état naturel, car elle reprend son aimantation primitive par

---

[1] En collaboration avec M. P. Tesse et M. Bréguet, constructeur.

[2] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXV, p. 1796; 1872.

un courant direct même faible, tandis qu'elle n'en reçoit aucune ou n'en prend qu'une très-faible par l'effet d'un courant inverse plus petit ou plus grand que celui qui l'a neutralisée.

J'ai expliqué ces faits en admettant que l'aimantation ne pénètre qu'à une profondeur limitée, mais qui est d'autant plus grande que le courant est plus fort, et que l'action successive des deux courants, le premier énergique et direct, le deuxième faible et inverse, superpose deux aimantations contraires, celle-là profonde, celle-ci superficielle. On ne constate que la différence.

Je viens présenter à la Société des expériences nouvelles, qui me paraissent des preuves décisives de l'exactitude de cette explication.

Je prends d'abord un tube d'acier fermé par deux bouchons à vis de même métal (c'est un canon de fusil chassepot). J'y introduis un cylindre d'acier et j'aimante le tout dans une bobine avec un courant dont j'augmente progressivement l'intensité. Tant qu'il est faible, il n'agit que sur le tube, laissant l'âme à l'état naturel. A partir d'une force déterminée, il donne à l'âme une aimantation qui croît avec cette force et qui finit par être égale à celle qu'on obtiendrait si le tube n'existait point. Il est donc prouvé que l'aimantation pénètre à des profondeurs limitées qui croissent avec l'intensité.

On confirme cette conclusion en aimantant préalablement l'âme à nu et à saturation par un courant direct, en l'introduisant ensuite dans le tube et en soumettant le tout dans une bobine à un courant intense qu'on augmente peu à peu. Tant qu'il est faible, l'âme garde toute son aimantation ; puis elle la perd progressivement et en prend ensuite une autre qui est inverse.

Il y a toujours un moment où l'ensemble du tube et du cylindre intérieur ne possède aucun magnétisme apparent, ne peut être aimanté par un courant inverse, tandis qu'il l'est énergiquement par le courant de sens direct qui a produit l'aimantation de l'âme ; mais, si l'ensemble est neutre, il n'est pas à l'état naturel, car, en séparant les deux parties du système, on leur trouve des aimantations différentes, l'une directe sur l'âme, l'autre inverse sur le tube ; elles se neutralisaient par leur superposition. C'est l'image de ce qui se fait dans un seul morceau d'acier quand il a subi deux aimantations contraires, qui se superposent et se neutralisent, sans pour cela se détruire.

Je vais arriver maintenant à des épreuves plus directes, qui consistent à dissoudre la partie extérieure des aimants dans l'acide sulfurique dilué ; mais ici on rencontre tout d'abord de grandes difficultés. Les barres d'acier, si bien corroyées qu'elles soient, ne sont point homogènes et ne sont point également attaquées en leurs diverses parties. On voit des fibres se dessiner, des sillons se creuser et la surface éprouver toute espèce d'altérations. On peut être sûr que ces irrégularités de l'action chimique révèlent des irrégularités de la cohésion, de la force coercitive et de la constitution de l'aimant. Généralement la dureté du métal augmente vers le centre et la conductibilité magnétique décroît : c'est un point à étudier. Avant tout, il fallait trouver des barreaux homogènes, et je les dois à la complaisance d'un fabricant distingué, M. du Goujon, qui a bien voulu me préparer des lames laminées à froid plusieurs fois de suite, après des recuits successifs. Trempées ensuite et à peine recuites, elles se dissolvent très-facilement et très-régulièrement dans l'acide sulfurique dilué chauffé à 100 degrés, et peuvent être amenées jusqu'à une épaisseur de $0^{mm},1$ sans se rompre, sans cesser d'être très-planes.

Or, si l'on aimante une de ces lames, qu'on la plonge dans l'acide et qu'on la retire après chaque demi-heure d'action, pour mesurer son épaisseur et la quantité de magnétisme qu'elle a gardée, on trouve que celle-ci diminue, ce qui devait être. Évidemment, en dissolvant le métal, l'acide dissout aussi le magnétisme qu'il possédait. Si l'aimantation était uniformément répandue dans toute la masse, le rapport de la quantité de magnétisme à l'épaisseur serait constant ; or il ne l'est pas, et l'on trouve qu'il diminue jusqu'à zéro. Les deux couches magnétiques qui se trouvent au-dessous des deux faces de la lame offrent donc des intensités variables, décroissant de la surface où elle est maxima jusqu'à une certaine profondeur où elle est nulle.

Ayant ainsi usé de chaque côté environ $0^{mm},4$, il resta un noyau sans aimantation : les deux couches aimantées étaient donc limitées à une profondeur de $0^{mm},4$.

Cela est indépendant de l'épaisseur primitive de la lame. Le noyau peut maintenant être réaimanté, et il reprend exactement la même somme de magnétisme que la lame primitive. Cette nouvelle aimantation peut, à son tour, être dissoute comme la première, et ainsi de suite, jusqu'au moment où le noyau est réduit à $0^{mm},4$. A

partir de ce moment, l'aimantation le pénètre dans toute sa masse; elle y est uniforme en tous les points, et, si on l'use de nouveau, il garde une somme d'aimantation toujours proportionnelle à son épaisseur.

Pour montrer que l'épaisseur des couches aimantées croît avec l'intensité du courant, j'ai aminci à l'avance, mais inégalement, une série de lames et, les ayant rangées par ordre d'épaisseur, je les ai aimantées toutes par des courants d'intensité croissante.

Tant qu'ils étaient faibles, ils donnaient à toutes les lames le même magnétisme, parce que les couches aimantées pénétraient dans chacune d'elles à une profondeur moindre que son épaisseur totale. A un moment donné, la plus mince des lames se trouva saturée, c'est-à-dire pénétrée en totalité par l'aimantation. Son épaisseur était alors égale à la profondeur des couches. Pour un courant plus fort on vit la deuxième lame se saturer à son tour, et ainsi des autres, ce qui prouve que la profondeur des couches atteint successivement l'épaisseur entière de chaque lame, et qu'elle augmente, conséquemment, avec l'intensité.

Mais, aussitôt que l'épaisseur des lames dépasse une certaine limite μ, toutes deviennent identiques et prennent une somme de magnétisme égale. Cela prouve que les couches magnétiques elles-mêmes se limitent à cette épaisseur μ qu'elles ne peuvent jamais dépasser.

Cette limite est très-variable pour les divers aciers; elle est très-grande pour ceux qui sont mous ou recuits, elle diminue quand la richesse en carbone augmente et que la trempe est plus forte. J'ai dit qu'elle était égale à $0^m,4$ pour les lames que j'ai étudiées; mais je possède des échantillons où elle est inférieure à $\frac{1}{10}$ de millimètre. On peut dire que ceux-ci ne prennent qu'un vernis magnétique à leur surface, et il est impossible d'en augmenter l'épaisseur par une plus grande intensité de courant.

Mais, si la profondeur de l'aimantation diminue quand la conductibilité magnétique décroît, l'intensité du magnétisme va en augmentant. Il en résulte que la quantité d'aimantation est soumise à deux causes de variations inverses, la profondeur qui augmente, l'intensité qui diminue quand la conductibilité croît. On comprend que pour chaque acier le maximum dépend de la trempe et aussi de l'épaisseur du barreau.

Je reviens maintenant à l'expérience que j'ai rappelée en commençant; on comprend qu'une aimantation directe à saturation ait pénétré à la profondeur limite μ et qu'on puisse, par un courant inverse moins intense, détruire cette aimantation jusqu'à une profondeur μ' moindre que μ, y substituer une aimantation contraire, et laisser dans la différence $\mu - \mu'$ ce qui se trouvait de l'aimantation primitive. Le meilleur moyen de s'en assurer, c'est de dissoudre l'épaisseur μ'. On retrouve alors et l'on met en évidence l'aimantation première. L'expérience réussit sur toutes les lames, même quand elles n'ont que 1 millimètre d'épaisseur.

Elle peut même être faite d'une façon plus concluante; on peut ne plonger dans l'acide que l'une des moitiés de la lame pour dissoudre le magnétisme extérieur qui s'y trouvait, et, quand on a mis à découvert l'aimantation contraire qui est au-dessous, la lame entière offre deux pôles de même nom à ses deux extrémités et un point conséquent à l'endroit où a commencé l'action de l'acide. J'ai l'honneur de mettre sous les yeux de la Société le résultat de cette expérience concluante.

SÉANCE DU 2 AVRIL 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

De 7 heures et demie à 8 heures et demie ont été répétées pour les membres non résidants la plupart des expériences qui ont été présentées à la Société dans le courant de l'année par les membres résidants.

La séance relative aux communications des membres non résidants est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Govi, professeur à l'Université de Turin; Marc, maître répétiteur au lycée de Mont-de-Marsan, et Bontemps, directeur des transmissions télégraphiques.

M. Terquem montre à la Société une disposition qui permet de répéter facilement l'expérience du perce-verre, soit avec une machine électrique, soit avec une bobine d'induction.

M. Terquem expose ensuite les résultats de recherches qu'il a entreprises en commun avec M. Boussinesq sur la théorie des battements entre deux sons qui n'ont pas la même intensité.

M. Fernet lit le rapport de la Commission des comptes sur l'exercice de l'année dernière. Ce rapport conclut à l'approbation des comptes et à l'expression d'un remercîment à M. Philippon, trésorier sortant, pour le zèle qu'il a mis à s'occuper des finances de la Société. Les conclusions sont adoptées.

M. Nodot réalise quelques expériences d'optique très-ingénieuses. Dans l'une d'elles, il produit des spectres à bandes d'interférences en plaçant une lame cristalline entre deux rhombes de spath d'Islande de même épaisseur et disposés de manière à ne donner qu'une image réfractée.

Une autre expérience consiste à employer un cristal d'acide tartrique ou de bichromate de potasse pour manifester la double réfraction conique; avec ces cristaux on peut aisément projeter le phénomène et mettre en évidence la polarisation variable des différentes génératrices du cône de rayons réfractés.

M. Abria décrit les expériences qu'il a faites pour vérifier les lois de la réflexion intérieure dans le spath d'Islande. Les nombres qu'il a obtenus sont entièrement d'accord avec ceux que l'on déduit de la construction d'Huyghens.

M. Gripon montre, par quelques exemples, le parti que l'on peut tirer en Physique de membranes très-minces obtenues en tendant sur un cadre des lamelles de collodion.

M. Neyreneuf expose ses recherches sur la combustion des mélanges détonants.

La séance est levée à 10 heures et demie.

Recherches sur la théorie des battements;

par MM. Terquem et Boussinesq.

I. — *Théorie.*

Quand deux sons presque égaux en hauteur, et de même intensité, sont produits dans le voisinage l'un de l'autre, on démontre

que l'on devra entendre le son dont le nombre de vibrations est la moyenne de ceux des deux sons isolés et avec une intensité variable; cette intensité passe en une seconde par un nombre de maxima et de minima égal à la différence des nombres de vibrations des deux sons, ce qui produit la sensation des battements.

En effet soient

$$x = a \sin 2\pi n t \quad \text{et} \quad x' = a' \sin 2\pi n' t$$

les vitesses communiquées par les deux sons à une même molécule d'air, vitesses que nous supposerons dirigées suivant la même direction; la vitesse résultante sera donnée par la formule

$$\begin{aligned} y &= a \sin 2\pi n t + a \sin 2\pi n' t \\ &= 2a \cos \pi (n - n') t \sin 2\pi \frac{n + n'}{2} t. \end{aligned}$$

Cette relation est vraie, quels que soient n et n'; mais, si n et n' diffèrent peu l'un de l'autre, le facteur $\cos \pi (n - n') t$ a une très-longue période, et, comme les deux mouvements ébranlent sensiblement les mêmes fibres nerveuses dans l'oreille, on entendra le son correspondant à $\frac{n + n'}{2}$ vibrations par seconde, avec une intensité variable représentée par $4a^2 \cos^2 \pi (n - n') t$; il y aura donc par seconde $n - n'$ maxima et $n - n'$ minima, c'est-à-dire $n - n'$ battements.

Que doit-il se produire si, les deux sons restant très-voisins l'un de l'autre en hauteur, leurs intensités ne sont plus les mêmes? L'expérience a fait voir que le nombre des battements entendus est indépendant de l'intensité relative des sons; mais restait à déterminer le son qui est perçu, dont la hauteur doit varier évidemment suivant le son qui prédomine.

Voici comment nous avons résolu cette question par le calcul, avec une approximation suffisante, quand les deux sons diffèrent peu l'un de l'autre.

Soient, comme précédemment,

$$(1) \qquad x = a \sin 2\pi n t \quad \text{et} \quad x' = a' \sin 2\pi n' t$$

les vitesses communiquées, suivant la même direction normale au tympan, à la même molécule d'air par les deux corps vibrants.

Pour le mouvement résultant y, on aura

$$(2) \qquad y = a \sin 2\pi n t + a' \sin 2\pi n' t.$$

Posons

$$(3) \qquad a = \frac{M+N}{2} \quad \text{et} \quad a' = \frac{M-N}{2}$$

ou bien

$$(4) \qquad M = a + a' \quad \text{et} \quad N = a - a'.$$

On aura donc

$$(5) \qquad y = \frac{M+N}{2} \sin 2\pi n t + \frac{M-N}{2} \sin 2\pi n' t,$$

$$(6) \quad y = M \cos \pi(n-n')t \sin \pi(n+n')t + N \sin \pi(n-n')t \cos \pi(n+n')t.$$

Pour donner à cette expression la forme habituelle par laquelle on représente un mouvement vibratoire $a \sin 2\pi(nt - \varphi)$, posons

$$(7) \qquad \begin{cases} M \cos \pi(n-n')t = A \cos \alpha, \\ N \sin \pi(n = n')t \doteq A \sin \alpha; \end{cases}$$

d'où

$$(8) \qquad A^2 = M^2 \cos^2 \pi(n-n')t + N^2 \sin^2 \pi(n-n')t$$

et, en vertu des relations (4),

$$(9) \qquad A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa' \cos \pi(n-n')t.$$

Pour déterminer α, on aura la relation

$$(10) \qquad \operatorname{tang} \alpha = \frac{N}{M} \operatorname{tang} \pi(n-n')t;$$

d'où l'on déduit pour $\cos^2 \alpha$, dont on aura besoin plus loin,

$$(11) \qquad \cos^2 \alpha = \frac{M^2 \cos^2 \pi(n-n')t}{A^2}.$$

On aura donc, pour la vitesse résultante y,

$$(12) \qquad \begin{cases} y = A \cos \alpha \sin \pi(n-n')t + A \sin \alpha \cos \pi(n+n')t, \\ y = A \sin [\pi(n+n')t + \alpha]. \end{cases}$$

Si α était constant, y serait la vitesse du déplacement d'une molécule produisant un son, dont le nombre de vibrations serait $\frac{n+n'}{2}$.

L'égalité (12) ne représente rien de plus au point de vue de la perception du son que l'égalité (2), si n et n' sont très-différents l'un de l'autre; elle est même moins claire, à cause de la variation de α avec le temps; mais, si n et n' diffèrent peu, α varie très-lentement. Si donc l'oreille pouvait percevoir chaque vibration, comme si elle persistait assez longtemps pour produire un son de hauteur fixe, on entendrait une suite de sons de hauteurs variables, entre des limites très-rapprochées. Quelle est la hauteur véritable du son perçu? Pour déterminer cette hauteur, on est obligé, en admettant n peu différent de n', de négliger dans le calcul certaines quantités très-petites.

Soit θ la durée du son entendu à un instant quelconque, posons

$$(13)\quad \varphi = \pi(n+n')t+\alpha = \pi(n+n')t+f(t) \quad \text{avec} \quad \alpha = f(t).$$

Si l'on remplace dans cette expression t par $t+\theta$, φ augmentera de 2π; donc

$$(14)\qquad \varphi+2\pi = \pi(n+n')(t+\theta)+f(t+\theta)$$

et, en retranchant (13) de (14), on obtient

$$(15)\qquad 2\pi = \pi(n+n')\theta+f(t+\theta)-f(t).$$

Comme α varie très-lentement avec t, on pourra écrire

$$f(t+\theta)-f(t) = \frac{d\alpha}{dt}\theta.$$

Par suite l'égalité (15) devient

$$(16)\qquad 2\pi = \left[\pi(n+n')+\frac{d\alpha}{dt}\right]\theta.$$

Soit n_1 le nombre de vibrations par seconde du son entendu à chaque instant, s'il restait constant, on aura

$$n_1 = \frac{1}{\theta},$$

et par suite

$$(17)\qquad n_1 = \frac{n+n'}{2}+\frac{1}{2\pi}\frac{d\alpha}{dt}.$$

Pour trouver la valeur de $\frac{d\alpha}{dt}$, différentions l'égalité (10); on aura

$$\frac{1}{\cos^2\alpha}\frac{d\alpha}{dt} = \frac{N}{M}\pi(n-n')\frac{1}{\cos^2\pi(n-n')t},$$

et, si l'on remplace $\cos^2\alpha$ par sa valeur (11), on a

$$\frac{d\alpha}{dt}=\frac{MN(n-n')\pi}{A^2},\quad \text{d'où enfin}\quad n_1=\frac{n+n'}{2}+\frac{MN}{2A^2}(n-n').$$

Comme $MN = a^2 - a'^2$, en vertu des égalités (4),

$$(17)\qquad n_1=\frac{n+n'}{2}+\frac{a^2-a'^2}{2A^2}(n-n').$$

La hauteur du son entendu à chaque instant varie donc continuellement suivant la valeur de A^2, c'est-à-dire de l'intensité de ce même son. Le maximum de n_1 est $\frac{na+n'a'}{a+a'}$, et le minimum $\frac{na-n'a'}{a-a'}$.

Mais, pour connaître l'impression moyenne produite sur l'oreille, il faut, en outre, tenir compte de l'intensité du son à chaque instant; car l'impression sera plus forte et plus durable quand A^2 est maximum que quand il est minimum. Donc, pour déterminer la hauteur moyenne du son entendu, on devra affecter chaque impression individuelle d'un coefficient d'importance proportionnel à la valeur correspondante de A^2.

Soit T la durée d'un battement, très-longue par rapport à celle de chacun des sons isolés; on pourra écrire, pour le nombre n_2 de vibrations du son réellement entendu,

$$(18)\qquad n_2=\frac{\int_0^T n_1A^2\,dt}{\int_0^T A^2\,dt}.$$

Or on a

$$\int_0^T n_1A^2\,dt=\frac{(n+n')}{2}\int_0^T A^2\,dt+\int_0^T\frac{(a^2-a'^2)(n-n')\,dt}{2}$$

$$=\frac{(n+n')}{2}\int_0^T A^2\,dt+\frac{(a^2+a'^2)(n-n')}{2}\,T,$$

$$\int_0^T A^2\,dt=\int_0^T[a^2+a'^2+2aa'\cos 2\pi(n-n')t]\,dt=(a^2+a'^2)T.$$

Donc on aura pour n_2

$$(19) \qquad n_2 = \frac{n+n'}{2} + \frac{(a^2 - a'^2)(n-n')}{2(a^2+a'^2)} = \frac{na^2 + n'a'^2}{a^2+a'^2}.$$

A priori, on pouvait penser que telle devait être la formule qui représenterait le nombre de vibrations du son entendu; on reconnaît facilement que, si a ou a' est égal à zéro, n_2 deviendra égal à n' ou à n; si $a = a'$, on a

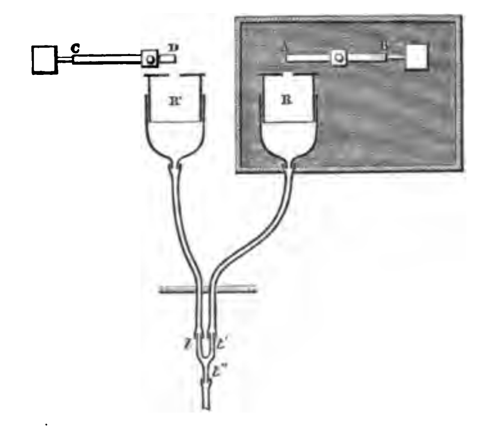
$$n_2 = \frac{n+n'}{2}.$$

Cependant, en s'appuyant sur le principe des forces vives, on ne pouvait écrire l'égalité finale $n_2(a^2 + a'^2) = na^2 + n'a'^2$; car ces produits ne représentent pas les forces vives moyennes correspondantes des divers sons.

II. — *Vérification expérimentale.*

L'appareil employé se composait de deux diapasons AB et CD (*fig.* 1), munis de curseurs, et dont le mouvement était entretenu à

Fig. 1.



l'aide d'un courant électrique; vis-à-vis des extrémités libres des branches sont placés deux résonnateurs R et R' à tirage; un des diapasons avec son résonnateur est placé dans l'intérieur d'une grande caisse afin d'en étouffer le son et d'empêcher l'ébranlement de se communiquer au second résonnateur par les vibrations de l'air.

Aux résonnateurs sont fixés des tubes de caoutchouc, qui se rendent dans une pièce voisine; les extrémités de ces tubes aboutissent aux deux branches *t* et *t'* d'un tube de cuivre bifurqué, et l'oreille, à l'aide d'un petit tube de caoutchouc fixé à la troisième tubulure *t''*, reçoit l'impression due à la coexistence des sons.

Un peu en avant du tube *t t' t''*, les deux tubes de caoutchouc passent dans deux petites presses à ressort, qui permettent d'intercepter partiellement ou totalement l'arrivée de l'un ou l'autre son à l'oreille.

Un des diapasons AB rendait le son ut_2 (128 vibrations doubles par seconde); le curseur du second diapason était déplacé successivement, de manière à lui faire rendre des sons de plus en plus différents de celui que produisait le premier.

Nous nous contenterons de rapporter dans ce travail les résultats relatifs à la théorie des battements, quand les deux sons concomitants sont très-rapprochés en hauteur, nous proposant de continuer ces observations sur l'audition des sons plus éloignés, formant des accords justes ou approchés; les sons simultanés qui produisaient les battements ne différaient pas l'un de l'autre de plus d'une tierce mineure, donnant de zéro à 25 battements par seconde.

Voici quel a été le résultat de nos observations :

Quand les deux sons diffèrent peu et qu'il y a au plus 8 à 10 battements par seconde, on en a la perception parfaitement nette. Supposons d'abord que l'un des deux sons soit complétement intercepté, le son supérieur par exemple; dès que, en desserrant légèrement la presse qui comprime le caoutchouc correspondant, le son supérieur s'ajoute à l'autre, on cesse d'entendre ce dernier; on n'entend plus que le son qui éprouve les variations d'intensité caractérisées par les battements, et que, par abréviation, nous nommerons désormais le *son des battements*. Ce dernier son monte ou descend sensiblement, suivant qu'en pressant l'un ou l'autre caoutchouc on laisse prédominer l'un ou l'autre des deux sons coexistants.

Si, au contraire, on sépare les caoutchoucs du tube *t t' t''* et que l'on mette l'un d'eux dans une oreille et l'autre dans l'autre, de manière à entendre chaque son isolément par une oreille, la combinaison des mouvements vibratoires ne se produit plus; on n'entend plus que les deux sons isolés sans aucune espèce de batte-

ments; la sensation de la dissonance, au contraire, est très-forte et très-désagréable. Si le nombre des battements dépasse dix par seconde, ils forment cette espèce de roulement désagréable, que l'on entend encore, même quand ceux-ci sont tellement fréquents, que l'on n'a plus la perception de chaque battement isolé. On constate, en outre, qu'à mesure que les sons concomitants s'éloignent l'un de l'autre, si un seul son existe d'abord, il faut que l'autre acquière une certaine intensité pour que l'on en ait la sensation et pour que les battements prennent naissance. On continue donc à entendre le premier son, sans entendre le second; puis tout à coup, quand les intensités s'approchent de l'égalité, on cesse d'entendre le premier son, et il est remplacé par le son des battements, qui en diffère notablement en hauteur; les mêmes faits se reproduisent en sens inverse quand on fait prédominer l'autre son ou qu'on éteint le premier. En outre, les variations de hauteur du son des battements sont moins considérables, et ce dernier son cesse brusquement de se produire, comme il a pris naissance.

Si l'on écoute de loin les deux sons, avec les deux oreilles, on entend trois sons, les deux sons isolés et celui des battements, ce qui occasionne cette sensation si désagréable de discordance due à la perception de trois sons très-voisins, dont un accompagné de battements; c'est évidemment ce fait qui a conduit M. Helmholtz à admettre que la cause de la discordance était due uniquement à la présence des battements, tandis qu'il résulterait de ces expériences que la discordance est due en réalité à l'indépendance des sensations différentes perçues par les deux oreilles.

III. — *Conclusions.*

Un son quelconque ébranle, comme l'on sait, dans l'oreille, un certain nombre de fibres avec une intensité décroissante, de part et d'autre des fibres dont l'ébranlement est maximum. Si donc deux sons de hauteurs peu différentes coexistent, il y aura un certain nombre de fibres communes ébranlées par les deux sons, tantôt fortement, tantôt faiblement, ce qui constitue le phénomène des battements; on n'entendra donc nettement que ce son intermédiaire.

Il se produit ici un phénomène analogue à celui que l'on observe dans la vision, quand l'œil reçoit les impressions émanant de deux points très-rapprochés ; les surfaces ébranlées sur la rétine se superposent en partie; on ne peut avoir la sensation nette de ces deux points, mais une sensation mixte ; si même les deux lumières sont différemment colorées, on aura la sensation d'une couleur due au mélange des deux premières.

De même, dans l'audition avec une seule oreille, on entend un son intermédiaire entre les deux sons isolés, qui se rapproche plus ou moins de l'un ou de l'autre suivant leurs intensités individuelles. Si les deux sons diffèrent très-peu l'un de l'autre en hauteur, il se produit dans le son entendu une gradation continue de l'un à l'autre; s'ils diffèrent notablement, il faudra qu'ils aient à peu près la même intensité pour ébranler d'une manière sensible les fibres intermédiaires, qui, elles, produiront la sensation du son que nous avons appelé *son des battements*. Contrairement à ce qui se produit pour la vision, les sensations apportées au cerveau par les deux oreilles restent complétement indépendantes, et, par conséquent, deux sons même très-voisins, perçus chacun par une oreille, ne donnent plus de battements, mais la sensation très-nette de l'intervalle (qui ici est une discordance), par suite de la comparaison que l'on peut faire des deux sensations simultanées.

Le sentiment de la concordance et de la discordance des intervalles musicaux ne saurait donc être attribué, comme l'avait supposé M. Helmholtz, à la coexistence de battements plus ou moins nombreux, soit entre les sons fondamentaux, soit entre leurs harmoniques.

Nous nous proposons d'étendre ces observations à l'audition des divers intervalles musicaux, pris dans diverses parties de l'échelle musicale ; les quelques observations que nous avons faites dans cette voie nous ont montré déjà que la détermination de la justesse d'un intervalle musical est bien plus difficile quand l'audition a lieu par une seule oreille que par les deux séparément, chacune recevant la sensation d'un son différent.

Appareil destiné à percer le verre par l'étincelle électrique;
par MM. Terquem et Trannin.

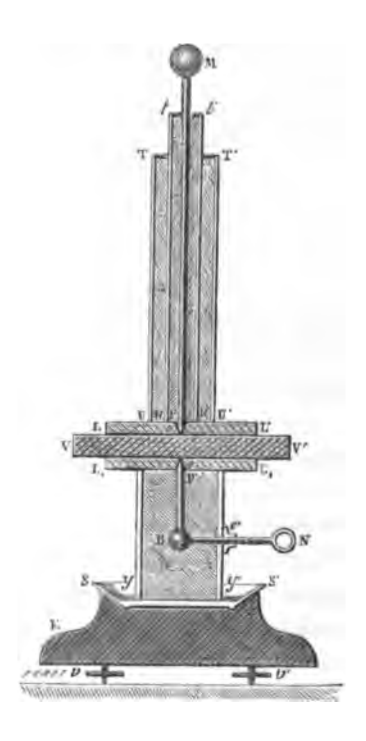
On connaît les difficultés que l'on éprouve lorsqu'on cherche à percer une lame de verre un peu épaisse à l'aide des étincelles des machines électriques ou de la bobine de Ruhmkorff. Les tiges terminées par les pointes doivent être entourées de cylindres de verre remplis de résine ou de poix; la lame à percer, collée à l'extrémité d'un de ces cylindres, doit être desséchée avec le plus grand soin; enfin l'appareil ne peut servir qu'une fois, et si, par hasard, le retrait de la résine a causé des cavités dans la masse isolante contre la lame de verre, l'appareil préparé la veille, ou tout au moins quelques heures d'avance, se perce à la première décharge, et est mis par conséquent hors d'état: il faut alors tout recommencer, et l'expérience faite dans ces conditions ne laisse pas que d'être souvent longue et toujours pénible et incertaine. Nous avons cherché à réaliser un appareil qui permît d'opérer à coup sûr et très-rapidement. Après quelques tâtonnements, voici la disposition à laquelle nous nous sommes arrêtés, et qui donne d'excellents résultats.

Notre appareil se compose de deux parties mobiles entre lesquelles est placée la lame à percer. La partie supérieure se compose d'une tige MP, entourée de deux tubes de verre de diamètres différents UT, *ut*, porte en haut une boule métallique M et est terminée en bas par une pointe P très-aiguë, qui entre dans une petite ouverture percée dans une lame de glace LL', sur laquelle reposent les deux tubes de verre.

L'intervalle compris entre la tige et les tubes est rempli d'arcanson, mélange de cire et de résine, qui isole parfaitement et fait adhérer avec force la lame de glace LL' contre les extrémités rodées des tubes UT et *ut*. L'extrémité P de la tige est exactement située dans le plan inférieur de la lame LL'.

La partie inférieure de l'appareil se compose d'une tige de cuivre coudée P'BN, dont la partie verticale BP' est fixée au centre d'un cylindre de verre $L_1 L'_1$, par de l'arcanson qui le remplit entièrement et maintient fixe contre les bords du cylindre une lame de verre

VV', percée également au centre d'une ouverture à travers laquelle passe la pointe P' de la tige. Ce cylindre est percé latéralement



d'un trou *e* pour laisser passer la tige. Il repose par sa base sur une soucoupe SS' de porcelaine, encastrée dans un socle de bois. Des vis calantes *v*, *v'* permettent de placer la glace dans une position horizontale. La lame à percer, humectée d'huile sur ses deux faces, est placée entre les lames LL' et $L_1 L'_1$. Si l'on a eu soin de prendre des lames rectangulaires égales et de les percer exactement en leur milieu, il suffira, pour mettre les deux pointes en regard, de placer les deux lames de façon qu'elles se recouvrent exactement l'une l'autre.

Dans ces conditions, les communications de la machine étant établies en M et en N, l'étincelle percera infailliblement la lame de verre, si son épaisseur n'est pas trop grande pour la machine avec laquelle on opère.

Avec une machine de Holtz à deux plateaux, nous avons percé

une lame de glace de 15 millimètres d'épaisseur. En déplaçant légèrement cette lame, on peut de nouveau la percer à une petite distance du premier trou; nous avons aussi des lames percées en cinq ou six endroits différents.

Il y a une précaution à prendre lorsqu'on coule l'arcanson dans les tubes de verre. Comme cette matière éprouve un retrait fort considérable par le refroidissement, il faut n'en verser dans les tubes que de petites quantités à la fois et attendre que le refroidissement soit complet, avant d'en ajouter de nouveau; en opérant ainsi, le retrait se fera toujours sur les couches nouvelles, et la masse sera parfaitement homogène. Si l'on négligeait cette précaution, le retrait briserait infailliblement la lame.

Le rôle de l'huile qu'on interpose entre le verre à percer et les lames de glace est d'empêcher l'étincelle de tourner autour de ce verre: aussi convient-il d'employer l'huile d'olive de préférence à toute autre, à cause de son grand pouvoir isolant; il est bon de presser les lames de glace contre le verre, et pour cela on peut les serrer au moyen de pinces en bois.

Cette disposition a l'avantage d'empêcher le glissement de ces différentes parties lubrifiées par l'huile, ce que l'on évite d'ailleurs en mettant l'appareil bien horizontal.

Quand on veut obtenir le maximum de tension de la machine de Holtz, il est indispensable de la débarrasser de tous les conducteurs inutiles, et particulièrement des conducteurs verticaux reliés par des plaques d'ébonite au bâti de la machine.

Il est également avantageux d'envelopper de tubes de caoutchouc à gaz les conducteurs auxiliaires qui relient les extrémités de l'appareil à percer le verre aux conducteurs de la machine; en opérant avec ces précautions, la machine ne subit aucune perte de tension et peut donner ainsi son maximum d'effet.

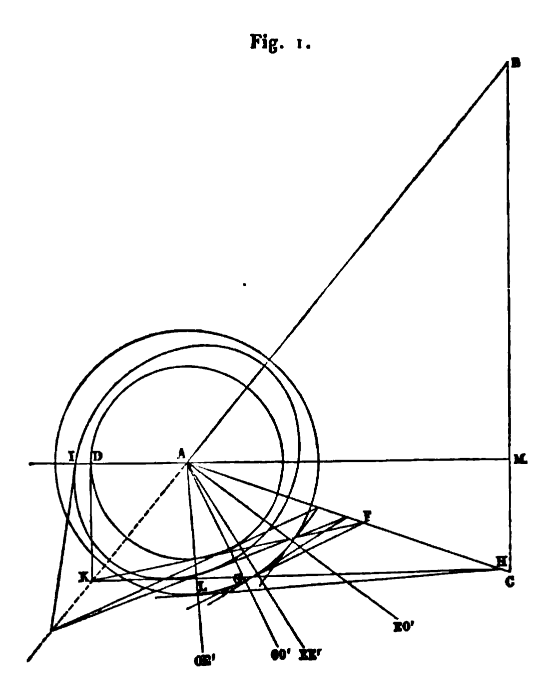
En faisant usage d'une bobine de Ruhmkorff, donnant des étincelles de 32 centimètres de longueur, nous avons pu percer, avec le même appareil, des lames de verre ayant 3 centimètres d'épaisseur: nous avons donc lieu de penser que cet appareil fonctionnerait également bien si l'on voulait percer des lames plus épaisses, en employant des bobines plus puissantes.

Sur la double réflexion intérieure dans les cristaux uniaxes; par M. Abria.

La théorie des ondes conduit à une règle générale très-simple pour trouver les directions des rayons réfléchis et réfractés à la surface de séparation de deux milieux mono ou biréfringents. Je me suis proposé de comparer la théorie avec l'observation dans le cas où le rayon subit la réflexion totale sur la surface d'un cristal biréfrigent uniaxe.

Soit BAC (*fig.* 1) un prisme biréfringent sur la face AB duquel

Fig. 1.



tombe un rayon AM venant du vide : il se divisera en deux O, E, et chacun de ceux-ci se subdivisera en deux autres par la réflexion sur la face AB. On aura donc en général quatre rayons émergents par AC; on peut les désigner par OO′, OE′, EO′ et EE′.

Si A est le point d'incidence, ce que l'on peut admettre sans nuire à la généralité de la question, il faut, d'après la théorie, décrire de A comme centre trois surfaces :

1° La sphère de rayon o;

2° L'ellipsoïde de demi-axes o, e, le premier dirigé suivant l'axe du cristal;

3° La sphère du rayon *un*.

o, e représentent les vitesses ordinaire et extraordinaire du rayon dans la substance, estimées en prenant pour unité la vitesse dans le vide.

Si le rayon qui tombe au point A est ordinaire, il faut le prolonger jusqu'à sa rencontre en D avec la sphère o, mener par le point D un plan tangent à cette sphère jusqu'à sa rencontre en K avec la face AB, puis par le point K un plan tangent à la même sphère o, lequel rencontrera la face d'émergence AC en F. En menant par F un plan tangent à la sphère *un* et en joignant le point de contact G au point A, on aura la direction de OO'.

Si l'on mène par le point K un plan tangent à l'ellipsoïde prolongé jusqu'à sa rencontre avec AC en H et par H un plan tangent à la sphère *un*, on obtiendra OE' en joignant AL, L étant le point de contact.

Si le rayon qui tombe en A est extraordinaire, on le prolongera jusqu'à sa rencontre en I avec l'ellipsoïde, et, en répétant pour I les constructions effectuées pour D, on aura les directions de EO', EE'.

Il reste à traduire ces constructions en formules, lesquelles font connaître les angles des rayons émergents avec AC. L'expérience donnant les angles des rayons émergents entre eux, il suffit de comparer les valeurs auxquelles conduit le calcul avec celles fournies par l'observation pour contrôler la théorie.

Lorsque la double réfringence est peu énergique, comme dans le cas du quartz, on peut admettre que tous les rayons sont compris dans le plan d'incidence: les calculs sont alors simplifiés.

Dans le cas du spath, les points de contact des plans tangents avec l'ellipsoïde ne peuvent pas être supposés dans le plan d'incidence, et il est nécessaire de calculer la coordonnée de chacun de ces points, parallèle à l'arête du prisme : les calculs, bien qu'un peu plus longs, sont assez simples.

L'accord entre la théorie et l'observation est en général satisfaisant. Les expériences ont pu être faites dans le cas du quartz avec une lampe placée à 10 mètres de distance du prisme : j'ai adopté $\lambda = 0^{mm},000550$. Dans celui du spath, il a fallu, à cause de la forte

dispersion, recourir à la lumière solaire tamisée à travers un verre rouge pour lequel $\lambda = 0^{mm},000661$.

Sur soixante-six expériences de comparaison, les divergences atteignent rarement 1 minute pour le quartz : elles se sont élevées dans quatre cas pour le spath à 20 minutes environ et dans vingt-six cas elles sont inférieures à 10 minutes. Si l'on tient compte des incertitudes inévitables des expériences, en ce qui concerne la direction de l'axe et du grand nombre de coefficients que l'on est obligé de calculer, on peut considérer la théorie comme suffisamment vérifiée.

De l'emploi en physique des lames de collodion; par M. E. Gripon.

Pour préparer des lames de collodion, on fait dissoudre de $1^{gr},5$ à $1^{gr},7$ de fulmi-coton dans un mélange de 50 grammes d'alcool et 50 grammes d'éther. On étend ce collodion sur une glace, comme si l'on voulait faire un cliché, en prenant soin de souffler sur la glace, avant de verser le collodion, afin de la recouvrir d'une légère couche d'humidité. Lorsqu'au bout de quelques heures le collodion est bien sec, on met la glace dans l'eau ; on l'en retire lorsque les bords de la couche se soulèvent. On applique alors sur le collodion une feuille de papier ordinaire et, rabattant sur cette feuille un des bords de la couche, on soulève le papier qui entraîne avec lui la lame de collodion ; on laisse celle-ci sécher à loisir.

Propriétés électriques. — Il est peu de corps qui s'électrisent plus facilement que le collodion. Au moindre frottement de la main, il s'attache aux doigts. Si l'on fixe par un de ses bords, à un tube de verre, une lame de collodion, qu'on laisse pendre comme un étendard, on électrise cette lame en l'agitant dans un air sec et chaud. Le frottement de l'air sur la lame suffit pour cela.

Propriétés optiques. — Une lame de collodion peut être tendue sur un cadre de zinc ou de bois ; lorsqu'elle est un peu humide, on la colle avec de l'empois ou de la colle liquide. La tension de la lame dépend de son degré d'humidité. Ces lames tendues sont minces, transparentes, polies comme le verre. Elles polarisent la lumière, et, d'après mes expériences, l'angle de polarisation maxima, compté

à partir de la normale, est de 56° 30′. On en déduit, par la loi de Brewster, que l'indice de réfraction de la lame est 1,5108, un peu plus petit que celui du crown, 1,5154.

En s'aidant du déplacement qu'éprouvent des franges d'interférence lorsqu'on interpose une de ces lames sur le trajet d'un des faisceaux interférents, on trouve que l'épaisseur des lames employées est comprise entre $\frac{[illegible]}{1000}$ et $\frac{[illegible]}{1000}$ de millimètre. J'en ai eu de beaucoup plus épaisses.

Couleurs des lames minces. — D'autres sont assez minces pour présenter les couleurs des anneaux colorés. Ces couleurs n'apparaissent pas lorsque la couche de collodion reste collée au verre, sans doute parce que, la différence des deux indices de réfraction étant très-faible, il n'y a pas de réflexion à la surface intérieure de la lame, et peut-être d'après cela pourrait-on se servir du collodion pour coller deux lames de verre, si l'on avait intérêt à affaiblir la réflexion qui se fait sur les surfaces en contact.

Comme M. Terquem l'avait observé de son côté, les colorations du collodion sont très-belles s'il recouvre un métal. On peut employer avec succès le verre argenté. Elles sont également très-vives si l'on reporte la couche de collodion sur du papier.

Diathermanéité. — Les lames de collodion sont diathermanes, autant que le sel gemme, pour la chaleur lumineuse d'une lampe ou d'une bougie. Elles laissent passer 0,91 de la chaleur incidente. En laissant à celle-ci la même intensité et en prenant pour source un cube noirci plein d'eau bouillante, on voit le pouvoir diathermane tomber à 0,70. La lame ne laisse passer que 0,50 de la chaleur si la température du cube est de 30 à 50 degrés.

Malgré son extrême minceur, la membrane est d'autant moins diathermane que la température de la source est plus basse.

Piles polarisantes. — On fabrique des piles polarisantes, en tendant des lames de collodion sur des cadres de zinc (ce sont des lames de zinc percées d'une large ouverture centrale). On empile ces lames, et l'on reçoit le flux de chaleur, de telle sorte qu'il fasse avec la surface de la pile un angle de 33° 30′.

Ces piles peuvent remplacer les piles de glace en Optique si l'on opère avec la lumière diffuse ; elles se brisent sous l'action directe du Soleil. Elles peuvent bien mieux remplacer les piles de mica dont on se sert dans l'étude de la chaleur rayonnante. Si elles sont

fragiles, elles sont aussi faciles à réparer. On peut leur donner de grandes dimensions, se servir par là même de la pile de Melloni armée de son réflecteur conique. Elles sont mieux polies, plus diathermanes que les piles de mica et ne sont pas biréfringentes. J'ai trouvé que la chaleur transmise par une pile de dix lames de collodion renfermait 7 pour 100 de chaleur polarisée.

Deux pareilles piles de six lames, étant placées l'une après l'autre, laissent, lorsque leurs plans d'incidence sont perpendiculaires, passer les $\frac{2}{3}$ de la chaleur qui les traverse lorsqu'elles sont parallèles.

Emploi des membranes en Acoustique.— En tendant des lames de collodion sur des cadres, on a des membranes vibrantes très-délicates. Si l'on en fabrique un grand nombre, qui diffèrent par leur tension ou leurs dimensions, on en rencontrera quelqu'une qui soit à l'unisson d'un diapason donné. On le reconnaît à ce que la membrane vibre en même temps que l'instrument lorsqu'elle en est à 1 ou 2 mètres. Ces vibrations se reconnaissent facilement en appliquant contre la membrane verticale un petit pendule formé d'une balle de sureau suspendue à un fil de cocon. Le diapason est monté sur une caisse renforçante.

Si l'on place cette membrane à une distance de l'orifice de la caisse comprise entre 5 et 10 centimètres, le son de l'instrument éprouve un affaiblissement considérable et disparaît même lorsque le diapason vibre faiblement.

Une membrane dont le ton serait bien différent de celui du diapason ne produirait rien de semblable. La membrane n'éteint le son de la caisse résonnante que parce qu'elle est à l'unisson de cette caisse. On désaccorde facilement une membrane en plaçant derrière elle une planchette qui lui soit parallèle. Or, si l'on approche une telle planchette de la membrane au moment où elle a éteint le son du diapason, on entend renaître le son primitif, intense, de l'instrument : on annule ainsi l'effet de la membrane en la désaccordant.

Celle-ci, placée à 5 ou 6 centimètres de l'orifice d'un tuyau d'orgue pris à l'unisson, agit également sur les vibrations de la colonne d'air; le son du tuyau monte, la membrane et le tuyau vibrent à l'unisson, mais rendent un son différent de celui qui leur est propre.

Si l'on diminue la pression de l'air de la soufflerie, il arrivera que le tuyau vibrera encore lorsqu'il sera seul, et cessera complétement de le faire lorsque la membrane sera près de lui.

Ces effets se réalisent avec toute membrane qui est à l'unisson du tuyau, qu'elle soit en collodion ou en papier, mais la faible masse des lames de collodion rend l'expérience plus piquante.

Sur les cannelures de MM. Fizeau et Foucault; par M. Nodot.

Ayant à préparer l'expérience des *cannelures* du spectre, dues à l'interposition d'un corps biréfringent, j'ai eu l'idée d'y employer, au lieu de deux prismes de Nicol, deux gros rhomboèdres de spath dont les sections principales étaient antiparallèles : les cannelures vinrent plus nettes et plus vives que jamais.

Entre le prisme qui, armé de sa lentille, donne sur le tableau un spectre réel très-net et la fente verticale du porte-lumière, on interpose l'ensemble des deux spaths, assez écartés l'un de l'autre pour qu'on puisse y insérer le quartz, parallèle à l'axe, générateur des cannelures. Leurs sections principales étant horizontales, on obtient, dans le trajet qui les sépare, deux lignes lumineuses verticales et à la sortie du dernier, à cause de l'antiparallélisme et de l'égalité d'épaisseur, une seule ligne lumineuse due à la superposition des deux précédentes. En intercalant le quartz (sa section principale à 45 degrés de celle des spaths), au filet lumineux précédent s'ajoutent deux filets latéraux d'intensité sous-double, l'un à droite, l'autre à gauche. On aura les belles cannelures signalées plus haut si le prisme ne reçoit que le double filet central, ou encore s'il ne reçoit que les deux latéraux ; elles disparaissent si les trois filets concourent tous également à la formation du spectre.

On prévoit que cela doit tenir à ce que les cannelures du filet central double sont complémentaires de celles des filets latéraux, les noirs des unes coïncidant avec les maxima des autres. C'est à l'aide du spectroscope que nous avons le plus aisément d'abord manifesté et cet antagonisme des deux systèmes de cannelures et la superposition parfaite de celles qui sont dues soit aux deux images latérales, soit aux deux images centrales superposées.

Placez l'ensemble des spaths et du quartz tout près de la fente du spectroscope et ayez une fente verticale mobile près de la face exté-

rieure du premier spath; grâce à la proximité, vous aurez trois filets lumineux distincts, dont chacun pourra, par la translation de la fente auxiliaire, couvrir tour à tour celle du spectroscope : dans chaque cas on a des cannelures. Les nôtres, données par un quartz épais de $1^{mm},157$, étaient espacées, dans la région la plus brillante, de 20 divisions de l'échelle, deux minima consécutifs tombant, quand il s'agissait d'un des filets latéraux, l'un sur 80, l'autre sur 100. Eh bien, quand on passait à l'image centrale, les deux minima de la même région correspondaient aux divisions 90 et 110. Pour avoir les cannelures de chacune des deux images centrales superposées et constater leur identité, il suffit de barrer la route à l'un des deux faisceaux, qui existent seuls et séparés entre les deux spaths.

Pour amener à la fois sur la fente les quatre faisceaux et assister à la disparition des cannelures, il suffit de reculer vers le porte-lumière l'ensemble des spaths et du quartz et d'amener ainsi et l'épanouissement et la superposition des filets lumineux; mais, même alors, en barrant la route à telle ou telle des images par des obstacles mis près des spaths, on peut ne garder que tel ou tel des faisceaux épanouis et obtenir de nouveau les cannelures.

On peut varier ces expériences. La disposition suivante, préférable à toute autre, donne simultanément soit dans le spectroscope, soit sur le tableau, les trois sortes de cannelures avec leurs rapports de position et d'intensité. On dispose parallèlement à la fente les deux sections principales des spaths, leur relation mutuelle pouvant être l'antiparallélisme sans rien changer aux résultats. On n'a alors qu'une ligne lumineuse provenant de la superposition des quatre. Comme la superposition cesse aux extrémités, si l'on ne garde que leur partie commune, on n'a pas de cannelures. Si alors on place, près de la face antérieure du premier spath, une fente horizontale ou simplement un petit trou rond, on obtiendra sur la fente du spectroscope trois images lumineuses dont la médiane a deux fois plus de lumière. Elles fournissent à trois niveaux différents les trois sortes de cannelures. Quand il s'agit du spectre projeté, on place près de la fente du porte-lumière le système des spaths et du quartz, et, pour évoquer les trois systèmes de cannelures, il suffit d'appliquer sur la fente soit une autre fente horizontale, soit le petit trou : ce spectre cannelé de trois systèmes de grosses franges

dont les extrêmes correspondent aux parties brillantes du système moyen constitue une très-belle expérience.

L'existence de deux sortes de cannelures tient, ainsi qu'on peut le reconnaître aisément, à ce que, dans les décompositions successives qui mènent à ces quatre images, il y en a deux qui sont passibles de la perte de $\frac{\lambda}{2}$ si bien mise en lumière dans ce genre de phénomènes par les expériences de Fresnel et Arago ; et l'on voit sans peine que les deux images superposées O_o, E_e subissent à la fois cette perte ou y échappent à la fois. Quant à la vivacité du phénomène, elle vient de ce qu'on a deux fois plus de lumière qu'avec deux Nicols, puisque les Nicols ne gardent qu'un des deux systèmes de cannelures similaires qui coexistent quand on emploie les spaths.

Sur la combustion des mélanges détonants; par M. Neyreneuf.

La combustion d'un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène dans un tube cylindrique s'accompagne de mouvements vibratoires que l'on peut mettre en évidence par deux procédés. On peut opérer la combustion soit dans des tubes de verre *bien secs,* soit dans des tubes recouverts de paraffine. Dans le premier cas, la vapeur d'eau, en se condensant de préférence sur les portions les plus froides, laisse transparentes les parties que la flamme en vibrant a le plus fortement chauffées ; la paraffine, en fondant, accuse, dans le second cas, la position de ces dernières parties.

1° Il est indispensable que la combustion du mélange ne soit pas trop rapide, et de plus, pour obtenir de beaux effets, on doit faire varier le mélange avec les dimensions du tube.

2° Avec une éprouvette de 3 centimètres de diamètre et de 20 centimètres de hauteur, bien sèche et remplie, par le procédé du transvasement de l'hydrogène, de 1 de ce gaz pour 1 d'air, les stries prennent l'apparence de feuilles de fougère. Avec des tubes de moindre diamètre, les effets sont plus réguliers, surtout s'il y a, par la détonation, son musical produit ; on observe alors des stries fines perpendiculaires à l'axe du tube.

3° Quand les tubes sont très-longs, il n'y a plus qu'un bruissement, mais les stries très-espacées sont très-nettes.

Quelques nombres et les deux figures ci-jointes donneront une

Fig. 1.

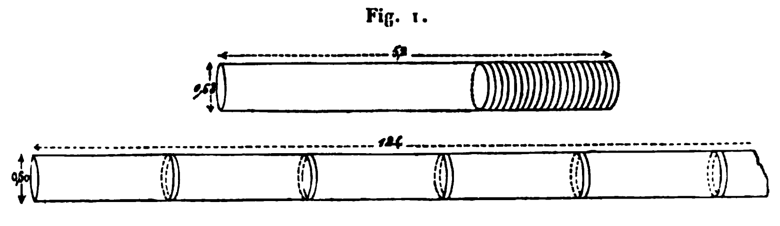


Fig. 2.

idée plus claire du phénomène ; la *fig.* 1 se rapporte à l'expérience I, et la *fig.* 2 à l'expérience IV.

Numéros des expériences.	Mélange.		Longueur. c	Diamètre. c	Distance des stries. c	Son.
I.	1 air	1 hydrog,	5,2	0,63	0,086	Très-pur.
II.	1 »	2 »	21,5	2,15	0,18	Très-pur.
III.	1 oxy.	19 »	24,0	1,25	0,26	Très-pur.
IV.	1 »	19 »	124,0	0,60	1,80	Nul.
V.	1 air	1 »	124,0	0,60	1,50	Nul.

4° On peut obtenir, en faisant varier la nature du mélange dans des tubes ne dépassant pas en longueur 30 centimètres, des apparences irrégulières correspondant à des sons discordants.

5° Si l'on enflamme le mélange par la méthode eudiométrique, les apparences ne se produisent plus.

6° Si les tubes sont ouverts aux deux bouts, les apparences sont les mêmes que lorsqu'une extrémité est fermée.

7° En faisant l'expérience avec le tube de 124 centimètres dans l'obscurité, on a l'apparence d'un tube de Geissler illuminé par un seul mouvement de l'interrupteur.

SÉANCE DU 16 AVRIL 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Monnoyer, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Nancy; Andrews, professeur de Queen's college (Belfast); Pellat, astronome-adjoint à l'Observatoire et Henri Becquerel, élève ingénieur des Ponts et Chaussées.

M. Camacho présente des électro-aimants d'une forme nouvelle dont l'action attractive est très-considérable.

M. du Moncel rappelle à ce sujet quelques expériences qu'il a faites il y a plusieurs années et qui ont un certain rapport avec celles de M. Camacho.

M. de Romilly expose les résultats de ses recherches sur l'entraînement de l'air par les gaz et les vapeurs.

M. Bourbouze fait fonctionner une *sirène* dans laquelle le son est produit par un filet de gaz comprimé qui s'échappe d'un réservoir à une certaine distance de l'embouchure de la sirène et entraîne avec lui un grand volume d'air; les sons ainsi obtenus sont plus purs et plus faciles à maintenir que si l'on employait une soufflerie ordinaire.

M. Moreau déduit de diverses expériences des conséquences relatives à la proportion de l'air dissous dans l'eau à de grandes profondeurs. Des poissons vivant dans de l'eau, en contact avec de l'air comprimé à 6 atmosphères, succombent tous en offrant le sang écumeux quelques minutes après la décompression; tandis que l'on n'a jamais constaté que les poissons vivant à de grandes profondeurs offrent un sang spumeux quand on les tire brusquement des eaux où ils vivent; d'où il conclut que les couches profondes des lacs et des mers ne contiennent pas plus d'air en dissolution que les couches superficielles.

La séance est levée à 10 heures un quart.

Nouvelle forme d'électro-aimant; par M. A. Camacho.

Si l'on fait passer un courant très-faible par le fil d'un électro-aimant ordinaire, celui-ci s'aimante immédiatement; mais cette aimantation est presque superficielle, puisque l'épaisseur de la couche magnétique ne dépasse pas une fraction de millimètre.

Pour augmenter cette épaisseur, on est obligé de renforcer le courant de plus en plus, jusqu'à ce que le magnétisme arrive au centre.

Mais, en observant alors de quelle façon le magnétisme est distribué dans la section de l'électro-aimant, on voit qu'il décroît de la circonférence au centre, étant nul dans l'axe même, et, si l'on veut encore augmenter le magnétisme total, il sera nécessaire de renforcer encore le courant jusqu'à une certaine limite qu'il est impossible de dépasser, et après laquelle l'électro-aimant s'échauffe sans augmenter pour cela son magnétisme.

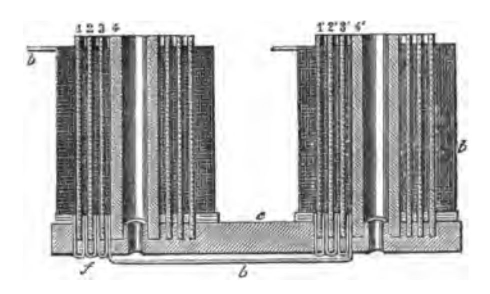
Lors même que l'on arriverait à cette limite, dans les électro-aimants d'un diamètre considérable, on observerait encore que le magnétisme décroît de la circonférence au centre.

Des considérations théoriques m'ont conduit à penser que, s'il était possible de faire passer un courant isolé non-seulement autour de la couche extérieure du cylindre de fer d'un électro-aimant ordinaire, mais aussi autour de toutes les couches intérieures, on arriverait à obtenir un électro-aimant susceptible de prendre sa limite d'aimantation sous l'action d'un courant très-faible et dont la puissance correspondant à cette limite serait beaucoup plus grande que dans les cas ordinaires, puisque son aimantation serait entièrement égale dans tous les points de sa section, et que de plus, ses atomes se trouvant à la plus petite distance possible du courant magnétisant, son aimantation complète serait presque instantanée, puisque le temps dépendrait seulement alors de la période variable de la propagation du courant à travers le conducteur qui entourera l'électro-aimant.

Bien que cette disposition soit impossible à réaliser dans la pratique, on peut cependant en approcher beaucoup, et pour cela il suffit de construire un électro-aimant formé de la manière suivante :

Chaque noyau est constitué par une série de tubes de fer concentriques 1, 2, 3, 4,...; 1′, 2′, 3′, 4′, laissant entre eux un intervalle

à peu près égal à leur épaisseur; sur chacun de ces tubes est enroulé, toujours dans le même sens, un fil *b* de cuivre isolé, l'épais-



seur de la couche de fil étant plus grande sur le tube extérieur.

Les extrémités *f* du fil correspondant à chaque tube traversent la culasse de l'aimant et sont réunies de manière à ne former qu'un seul et unique conducteur.

En employant le courant de 10 éléments Bunsen, de grandeur ordinaire, la force attractive d'un électro-aimant, comme celui qui est décrit ci-dessus (de 15 centimètres de diamètre de bobine et de 17 centimètres de longueur), à 1 millimètre de distance, est de 1000 kilogrammes, et, à 6 millimètres, de 250 kilogrammes.

Avec un électro-aimant télégraphique ordinaire de 50 kilomètres de résistance, comparé à un autre semblable, mais du système décrit ci-dessus, le résultat a été le suivant :

Ordinaire au contact	4 kilogrammes.	8 éléments Leclanché.
Tubulaire au contact	20 »	

J'indiquerai enfin que l'expérience a montré que, si l'on recouvre les extrémités polaires des tubes qui constituent chaque noyau de ces électro-aimants, au moyen d'une rondelle de fer, l'électro-aimant perd sa grande puissance et se retrouve dans les mêmes conditions qu'un électro-aimant ordinaire.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur;
par M. Félix de Romilly.

Je me suis proposé d'examiner les effets d'un jet d'air ou de vapeur partant d'un *ajutage lanceur* et entraînant avec lui une cer-

taine quantité d'air ambiant, dans des *ajutages récepteurs*. Ces ajutages, de formes variées, rentrent tous, quant au sens des phénomènes, dans un des quatre types suivants :

1° *Coniques à petite section tournée vers le lanceur;*
2° *Coniques à grande section tournée vers le lanceur;*
3° *Cylindriques;*
4° *Percés en mince paroi.*

On s'est occupé d'abord des effets du jet lancé à l'intérieur de l'orifice récepteur, ensuite des effets du jet dirigé à l'extérieur.

Les expériences ont été faites ainsi : le lanceur est en communication avec une chaudière à vapeur servant de réservoir à air comprimé. Ce lanceur est fixé sur une base pouvant, par une glissière divisée, se mouvoir vers le récepteur. Cette base porte elle-même une autre glissière divisée pour le mouvement latéral. Le jet est reçu par les récepteurs désignés plus haut, formant tour à tour l'entrée d'un gazomètre bien équilibré. L'air, passant librement, soulève et emplit la cloche en un temps observé au compteur à seconde. On mesure ainsi la quantité entraînée avec la vitesse à l'orifice et, par suite, la pression correspondante. Si l'on veut examiner l'effet du jet lancé dans un ajutage formant l'entrée d'un récipient clos, la cloche est chargée et immobilisée; le gazomètre forme alors le récipient clos, et un manomètre annexé donne les pressions.

Première série. — *Effet du jet lancé dans l'orifice du récepteur.* On commence l'expérience par introduire et luter le lanceur dans le récepteur. On note le temps d'emplissage, puis on sépare le lanceur du récepteur, et l'on examine les effets de l'éloignement et de l'excentration à toute distance, en maintenant toujours le lanceur dans la direction de l'axe ou dans une direction parallèle. On a ainsi tous les effets, tant en récipient clos qu'en récipient ouvert, selon que le gazomètre est chargé ou qu'il est libre.

Le fait le plus important est la conservation intégrale de la quantité de mouvement du jet lanceur dans la masse entraînée. Nous donnons donc de préférence l'ajutage qui réalise cet effet avec les conditions de son emploi.

Expériences *avec récepteur conique de* 5 *à* 7 *degrés* (petite section vers le lanceur).
(Diamètre de petite section, $0^m,016$; longueur, $0^m,114$.)

I. L'ajutage qui donne le maximum d'effet, en conservant l'intégralité de la quantité de mouvement, est le CONIQUE de 5 à 7 degrés (petite section regardant le lanceur). Le lanceur doit être placé à l'extérieur, éloigné d'une distance qui croît en raison de la section du récepteur, et très-peu avec la pression au lanceur (*fig.* 1). Cette distance du lanceur est fixée par le cône de 15 degrés environ formé par le jet ayant son sommet serti dans l'orifice lanceur, et ayant pour base l'orifice récepteur.

Dans ce cas, la quantité d'air reçue q est dans la proportion des diamètres du récepteur et du lanceur : $q = \frac{D}{d}$, D étant le diamètre du récepteur et d le diamètre du lanceur.

La vitesse est en raison inverse, $V = \frac{d}{D}$.

Il faut supposer à l'orifice du lanceur toute la vitesse de la détente, comme à l'orifice récepteur.

Il en résulte donc la conservation intégrale de la quantité de mouvement.

Cet effet est le même quelle que soit la grandeur du récepteur, *pourvu que l'on se serve du présent ajutage dans les conditions de maximum indiquées*. Voici quelques expériences :

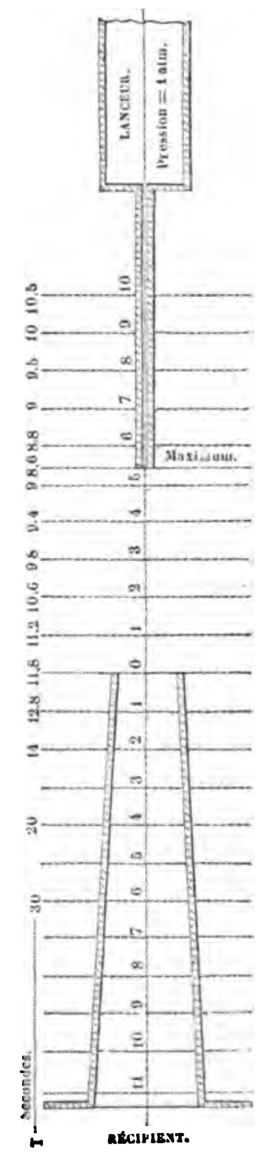


Fig. 1, demi-grandeur. L lanceur tube fin : longueur, $0^m,092$; diamètre, $0^m,0015$; T temps d'emplissage.

Les chiffres placés sur l'axe indiquent des centimètres à partir du ras de l'orifice; les chiffres supérieurs indiquent le temps d'emplissage.

Maximum maximorum : *récipient ouvert*, $8^s,6$; *récipient clos*, $0^m,051$ (*hauteur d'eau avec lanceur de : longueur*, $0^m,17$; *diamètre*, $0^m,0015$).

Lanceur à mince paroi (diamètre, 0,001, réduit à 0,0008 par contraction de la veine; pression, 1 atmosphère).

Avec récepteur, diamètre.. ...	lanceur luté	0,004	0,008	0,016	0,032
Remplit le gazomètre de 48 lit. en	173^s	34^s	17^s	8^s,5	4^s,2
Quantité par seconde..........	0^{lit},282	1^{lit},41	2^{lit},82	5^{lit},64	11^{lit}
Vitesse (détente comprise) (1)..	564^m	112^m,09	56^m,40	28^m,20	14^m,25
Quantité de mouvement.......	159	158	159	159	162

La pression sur l'orifice de ce récepteur est en raison inverse de sa section, $P = \frac{K}{D^2}$. La constante K varie selon que l'ajutage récepteur forme l'entrée d'un récipient clos ou d'un récipient laissant échapper l'air librement. Dans le premier cas, la pression est donnée par un manomètre; dans le second cas, la pression est calculée d'après la vitesse au passage.

D'après les expériences faites avec 1 atmosphère au lanceur, la première pression est à la seconde comme 1,4 est à 1.

Exemple :

Lanceur...................... 0^m,0008 Récepteur................. 0^m,008

Le rapport des sections donnerait en hauteur d'eau 0^m,100. L'expérience donne :

En récipient ouvert (d'après la vitesse).... 0^m,195 (double du rapport des sections).
En récipient clos...................... 0^m,280 (1,4 du nombre précédent).

Il faut avoir égard à cet effet, lorsqu'on place un tube manométrique dans l'intérieur d'un tuyau pour évaluer le passage d'un gaz.

Dans le cas de l'ajutage conique décrit, le maximum à toute distance est au centre, ce qui se manifeste en excentrant le lanceur parallèlement à l'axe du cône récepteur.

Voici les résultats comparés des divers ajutages :

	Temps d'emplissage.	Rapport des quantités de mouvement.
Conique de 5 à 7 degrés (petite section vers lanceur)......	8^s,6	100
Conique de 15 degrés »	9^s,6	81
Conique de 5 à 7 degrés (grande section vers lanceur)....	10^s,6	65
Cylindrique..	11^s	61
Mince paroi...	12^s	48

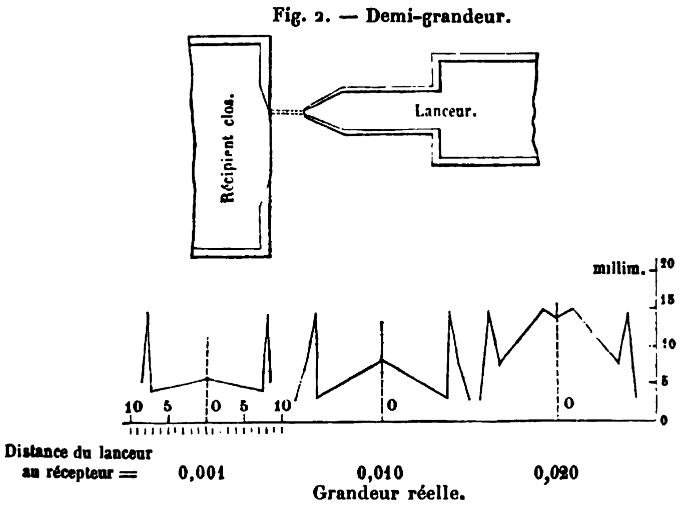
(1) Vitesse comptée d'après l'air détendu reçu dans le gazomètre, en supposant l'orifice du lanceur réduit à $\frac{65}{100}$ par suite de la contraction de la veine fluide, ayant par conséquent un diamètre réduit dans la proportion de $\sqrt{65}$ à $\sqrt{100}$, et par suite réduit à 0^m,0008.

Pour les autres ajutages il n'en est pas de même; l'ensemble des résultats peut se résumer dans l'énoncé suivant :

Lorsqu'on lance un jet d'air, il semble au premier abord que la position axiale et centrale doit être celle qui pour tout écartement donne le maximum; il n'en est ainsi que dans le cas que nous avons considéré. Pour les autres on observe des effets qui varient selon la position et la forme du récepteur ([1]).

Deuxième série. — *Effets du jet lancé sur la paroi latérale du récepteur.* — Si, avec le récepteur à mince paroi, on éloigne le lanceur de quelques millimètres seulement du récepteur et qu'on l'excentre suivant le rayon, c'est lorsque le lanceur dirige son jet toujours parallèlement à l'axe, non plus dans l'orifice récepteur, mais *en dehors,* sur la paroi même où l'orifice est percé, que se

Fig. 2. — Demi-grandeur.



Pressions sur ordonnées en hauteur d'eau. Excentrations sur abscisses, grandeur réelle. Le centre de l'orifice récepteur correspond au zéro sur l'abscisse.

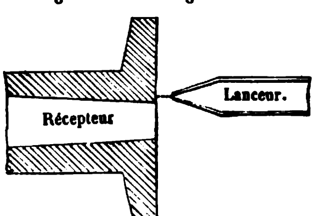
trouve le maximum de pression, maximum qui dépasse le double de la pression obtenue en lançant le jet dans l'intérieur de l'orifice. Ainsi la projection sur un plan parallèle des deux orifices, lanceur et récepteur, donne, au moment du maximum, deux cercles extérieurement tangents. La grandeur absolue de l'effet, après le bord, croît très-peu avec la distance du lanceur au récepteur, de sorte que sa supériorité sur l'effet du jet lancé à l'intérieur ne persiste

([1]) *Voir,* pour plus de détails, le *Journal de Physique,* t. IV, p. 267 et 334.

pas; car, l'effet du jet dans l'orifice grandissant rapidement avec l'éloignement, il se trouve que, après une certaine distance où ces deux effets sont égaux, et où il y a alors deux maxima égaux, l'effet du jet dans l'orifice devient prédominant. Voici, comme exemple, les courbes faites avec lanceur de 1 millimètre de diamètre, à 1 atmosphère, et récepteur de $0^m,016$ de diamètre (*fig.* 2).

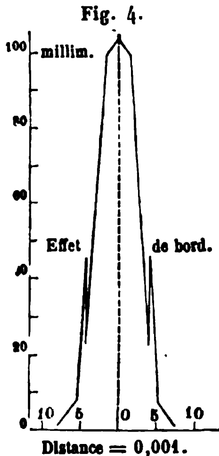
On voit que, avec le récepteur de $0^m,016$, ce n'est qu'à $0^m,020$ de distance qu'on a égalité des deux maxima. Avec des récepteurs de diamètres moindres, les effets sont de même nature, et, à mesure que le récepteur décroît, les courbes sont plus accentuées, et l'égalité des deux maxima a lieu plus tôt. Il est du reste facile de rendre sensible cette tangence; lorsqu'on a obtenu le maximum par excentration, on avance normalement le lanceur vers le récepteur : il vient buter sur la paroi, et le jet est arrêté.

Fig. 3. — Demi-grandeur.



Cette manœuvre, comme toutes celles des expériences précédentes et suivantes, exige que le lanceur soit fixé sur une base pouvant, par une glissière, se mouvoir vers le récepteur, cette base portant elle-même une autre glissière pour le mouvement latéral.

Fig. 4.



Distance = 0,001.

Pressions sur ordonnées en hauteur, échelle ½.

Excentrations sur abscisses, grandeur réelle.

Le centre de l'orifice récepteur correspond au zéro sur l'abscisse.

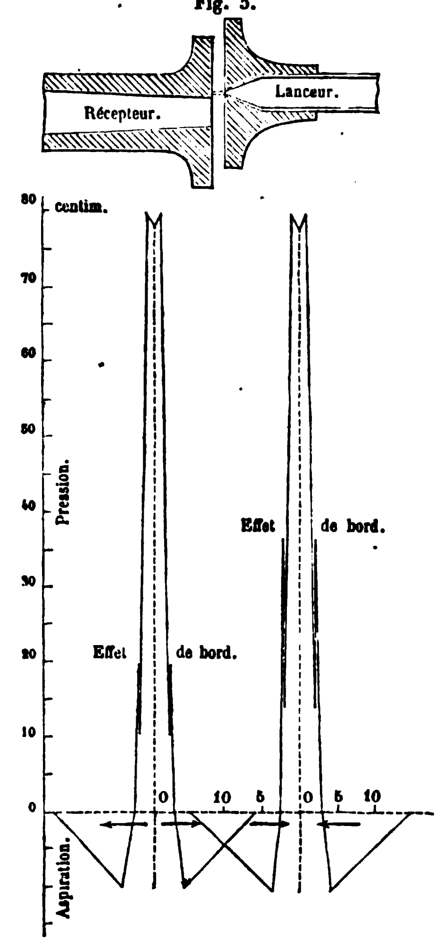
Lanceur ½ atm., diam. 0,001, récepteur 0,008.

Cet *effet de bord* est-il particulier au récepteur à mince paroi ? Pour généraliser le phénomène, il suffit de l'étudier avec les autres récepteurs de forme intérieure différente. Si donc on prend un récepteur conique, celui de 7 degrés et de 8 millimètres de diamètre par exemple, pourvu à sa petite section tournée vers le lanceur d'une surface latérale plane continuant la surface de section de l'orifice (*fig.* 3), on reconnaît, en partant de l'axe : 1° que le maximum est sur l'axe, et qu'à partir de l'axe il y a diminution (série précédente); 2° qu'au moment où le lanceur franchit le bord il y a minimum très-accusé, puis augmentation de pres-

sion considérable et brusque, lorsque le bord est franchi (*fig.* 4). C'est un second maximum, inférieur ici au maximum central, mais très-marqué, et même, en valeur absolue, supérieur au même effet avec l'orifice en mince paroi de même diamètre. Après ce maximum, il y a diminution graduelle.

Même effet avec l'ajutage cylindrique. Avec le divergent, l'effet est très-effacé.

Ainsi l'effet du bord est général, mais seul l'orifice à mince paroi donne un effet de bord supérieur à l'effet du jet lancé à l'intérieur de l'orifice.



Distance = 0,002.

Pression et aspirations sur ordonnée en hauteur d'eau, échelle $\frac{1}{10}$.
Excentrations sur abscisses, grandeur réelle.
Le centre de l'orifice récepteur correspond au zéro sur abscisse.
Lanceur, 1 atm., diam. 0,001. } Parois paral.
Récepteur, 0,004. }
Sens de l'excentration donné par les flèches.

Lorsqu'on se sert d'un lanceur et d'un récepteur pourvus tous deux de parois latérales parallèles, on a, le bord franchi, non plus une pression, mais une *aspiration*. Cette aspiration se produit jusqu'à une grande distance entre le lanceur et le récepteur. Par exemple, un lanceur de 1 millimètre de diamètre à 1 atmosphère peut être éloigné de plus de 1 centimètre d'un récepteur de 8 millimètres de diamètre, sans que l'effet d'aspiration soit anéanti. En le rapprochant, l'aspiration augmente et dépasse en valeur absolue la pression maximum obtenue à la même distance lorsque le jet pénètre dans le récepteur. Cette différence en faveur de l'aspiration peut s'élever à près du triple de la pression.

Le lieu du maximum de cette aspiration est situé, pour les distances rapprochées, au point même où se trouvait, par l'effet de bord, le maximum de pression avec lanceur sans paroi parallèle. Cependant l'aspiration n'efface l'effet de bord que pour les distances très-proches (*fig.* 5). Le maximum d'aspiration s'écarte à mesure que la distance entre les ajutages augmente, tandis que l'effet de bord s'obtient toujours avec une excentration à peu près identique. Déjà, à 2 millimètres de distance, entre l'ajutage conique de 4 millimètres de diamètre, on a en premier lieu l'effet de bord et un peu plus loin l'effet d'aspiration.

Voici donc, en s'éloignant du récepteur, la succession des effets d'excentration : 1° (presque au contact) pression sur toute la paroi, quelle que soit l'excentration ; 2° (un peu plus éloigné) aspiration, puis pression en excentrant davantage ; 3° (vers 1 millimètre de distance) aspiration pour toute excentration ; 4° (vers 2 à 3 millimètres) pression par effet de bord, puis aspiration ; 5° disparition de l'aspiration, continuation de la pression par l'effet de bord ; 6° disparition de l'effet de bord dans l'effet général.

SÉANCE DU 7 MAI 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

Est élu membre de la Société, M. Oreste Lattes, ingénieur à Turin.

A propos du procès-verbal, M. Raynaud cite un Mémoire adressé en janvier 1872 au directeur de l'administration des télégraphes, Mémoire dans lequel M. Perrin propose des électro-aimants à noyaux concentriques analogues à ceux qui ont été imaginés par M. Camacho.

M. Bouty expose les résultats de ses recherches sur l'aimantation par les courants.

M. Cazin fait le récit des observations les plus intéressantes de son voyage à l'île Saint-Paul et décrit en particulier les appareils

dont il a fait usage pour obtenir les photographies du passage de Vénus sur le Soleil.

La séance est levée à 10 heures.

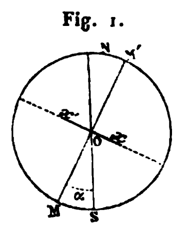
Note sur le magnétisme; par M. E. Bouty.

On ne peut espérer d'établir une théorie complète du magnétisme tant que les phénomènes si variés et si peu connus qui accompagnent la production des aimants par les courants, leur réunion, leur séparation ou leur rupture, etc., n'auront pas été étudiés, et de très-près. J'exposerai en peu de mots une partie des recherches que j'ai tentées dans cette voie, à la suite des physiciens illustres qui tout récemment ont remis en honneur ce genre d'étude expérimentale, trop délaissé, surtout en France, depuis les travaux classiques de Coulomb.

J'indiquerai d'abord le principe de la méthode que j'emploie pour mesurer les moments magnétiques de très-petites aiguilles aimantées. Concevons un support rigide mobile autour d'un axe vertical. Fixons sur ce support : 1° une aiguille horizontale dont le moment magnétique M est connu; 2° l'aiguille dont on veut déterminer le moment magnétique x. Les deux aiguilles sont placées l'une au-dessus de l'autre, de façon que leurs axes soient rectangulaires, et à une distance suffisante pour que leur action réciproque n'altère pas la distribution du magnétisme dans chacune d'elles.

Le système ainsi formé prend, sous l'influence du magnétisme terrestre, une position d'équilibre déterminée, et telle que l'axe magnétique de l'aiguille M (*fig.* 1) fasse avec le plan du méridien

Fig. 1.

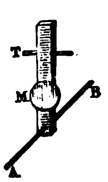


magnétique NS un angle α déterminé par l'équation (1),

$$x = m \operatorname{tang} \alpha. \tag{1}$$

Si le moment x est assez petit par rapport à M, l'angle α pourra être mesuré par la méthode optique de Poggendorff. A cet effet, le support des aiguilles (*fig.* 2) porte un petit miroir vertical M,

Fig. 2.



dans lequel on observe à l'aide d'une lunette l'image d'une règle divisée horizontale, placée au-dessous de l'objectif et perpendiculaire à l'axe optique de la lunette.

On est libre de faire le moment M de l'aiguille directrice aussi faible qu'on voudra. Il en résulte qu'on pourra par ce procédé mesurer le moment magnétique d'aiguilles aimantées très-petites, comparables par leurs dimensions à des grains de limaille. J'ai pu effectuer des mesures sur des aiguilles de 2 millimètres de longueur et de $0^{mm},2$ de diamètre.

La méthode est d'un emploi simple et rapide, surtout quand on a un nombre considérable de mesures à effectuer : elle n'exige que des corrections faciles, et fournit des résultats généralement exacts à $\frac{1}{200}$ près de leur valeur absolue. Elle m'a permis de pousser assez loin l'étude de la rupture des aiguilles aimantées, qu'il eût été impossible d'entreprendre en employant les méthodes ordinaires.

Si l'on vient à rompre par son milieu une aiguille aimantée bien régulière, deux cas peuvent se présenter :

1° Si l'aiguille est trempée assez dur pour se rompre entre les doigts comme du verre et sans flexion appréciable, les deux moitiés sont des aimants de même moment magnétique, comme on devait s'y attendre par raison de symétrie.

2° Si l'aiguille est trempée doux, de façon à être fléchie plusieurs fois en sens contraire avant de rompre, les deux fragments possèdent des moments magnétiques inégaux d'une façon en apparence arbitraire; mais cette anomalie, résultant des flexions qui précèdent la rupture, cesse de se présenter si l'on saisit l'aiguille de part et d'autre et très-près de son milieu, de façon à n'intéresser aux flexions perturbatrices qu'une tranche presque aussi mince

que celle qui peut être affectée par la rupture dans les aiguilles fortement trempées.

On peut donc admettre que la rupture n'a pas d'effet magnétique propre, et qu'elle équivaut à la séparation pure et simple des parties intimement juxtaposées dans l'aimant primitif.

Nous supposerons d'abord que l'on prend comme point de départ une aiguille trempée dur et saturée. On reconnaît aisément que tous les fragments obtenus en brisant cette aiguille suivant des plans perpendiculaires à son axe sont eux-mêmes saturés. Dans son *Essai sur l'application de l'Analyse mathématique aux théories de l'électricité et du magnétisme,* Green a déduit de l'hypothèse de la force coercitive la formule suivante, qui donne le moment magnétique y d'une aiguille de longueur x aimantée à saturation :

$$(2) \qquad y = \mathrm{A}a^2\left(x - \frac{2}{\beta}\,\frac{e^{\frac{\beta x}{2}} - e^{-\frac{\beta x}{2}}}{e^{\frac{\beta x}{2}} + e^{-\frac{\beta x}{2}}}\right).$$

Dans cette formule, A est une constante dépendant seulement de la nature de l'acier, et β une quantité de la forme $\frac{\mathrm{B}}{a}$, B étant une deuxième constante; le diamètre des aiguilles est représenté par a. Je me suis proposé de vérifier cette formule, et l'expérience a établi qu'elle représente rigoureusement les faits, dans les limites pour lesquelles elle a été établie théoriquement, c'est-à-dire pour des aiguilles de longueur supérieure à 10 ou 15 fois leur diamètre. Pour des longueurs moindres, les moments magnétiques se trouvent un peu plus forts que les valeurs de y tirées de la formule (2).

La vérification expérimentale de la formule de Green est intéressante à divers points de vue. En premier lieu, la loi qui régit les moments magnétiques d'aiguilles saturées de même diamètre et de diverses longueurs est liée à la loi de la distribution du magnétisme dans ces aiguilles de la manière suivante : la quantité de magnétisme libre dans une tranche perpendiculaire à l'axe, d'épaisseur dx, située à une distance x du milieu dans une aiguille de longueur 2λ, est, d'après Green, donnée par la formule

$$(3) \qquad \mathrm{A}a^2\beta\,\frac{e^{\beta x} - e^{-\beta x}}{e^{\beta\lambda} + e^{-\beta\lambda}}\,dx,$$

qui ne diffère pas de la formule donnée jadis par Biot, d'après les expériences de Coulomb, et adoptée depuis dans l'enseignement classique. Notre étude de la rupture, en vérifiant l'exactitude de la formule (2), nous fournit donc une démonstration indirecte de la loi de la distribution du magnétisme dans les aiguilles.

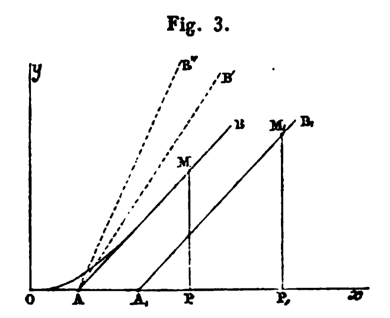
En second lieu, nous remarquerons que, d'après la formule (2), la distance d'un pôle à l'extrémité la plus voisine est égale à $\frac{1}{\beta}$ dans toutes les aiguilles assez longues pour qu'on puisse négliger la différence du facteur $\frac{e^{\frac{\beta x}{2}} - e^{-\frac{\beta x}{2}}}{e^{\frac{\beta x}{2}} + e^{-\frac{\beta x}{2}}}$ et de l'unité. Pour déterminer avec précision cette distance $\frac{1}{\beta}$, on tracera une courbe en prenant pour abscisses les longueurs x des aiguilles, et pour ordonnées les moments magnétiques y. Quand on donne à x des valeurs un peu considérables, les points figuratifs obtenus se trouvent sensiblement sur une même droite, qui se trouve ainsi parfaitement déterminée : sa demi-abscisse à l'origine fournit en valeur absolue la grandeur cherchée.

L'étude de la rupture d'aiguilles régulières, mais non saturées, fournit encore un résultat important. Si l'on détache les bouts d'une telle aiguille sur une longueur suffisante, et qu'on brise ensuite le fragment moyen, on reconnaît que les moments magnétiques des aiguilles obtenues ne diffèrent des moments des aiguilles saturées de même diamètre et de même longueur que par un facteur constant; et que, par suite, la distance des pôles aux extrémités est la même dans ces *aiguilles de rupture* que dans les aiguilles saturées. Si l'on a recours à la construction graphique employée dans le paragraphe précédent, on reconnaîtra que les asymptotes AB, AB', AB'' à toutes les courbes correspondant à un même diamètre se coupent rigoureusement en un même point de l'axe des x (*fig.* 3).

Nous nous bornerons dans ce qui suit à considérer des aiguilles assez longues pour que leur point figuratif tombe sur l'asymptote à la courbe correspondante. Le moment magnétique MP d'une aiguille, dont le point figuratif est M, peut toujours être considéré comme le produit de deux facteurs dont l'un AP est la distance des deux pôles de l'aiguille, et dont l'autre, tang BAx, représente

la quantité de magnétisme de l'aiguille, ou son aimantation au centre. Il serait très-avantageux de déterminer séparément, chaque

Fig. 3.



fois que cela est possible, ces deux éléments distincts du moment magnétique. Voici comment j'ai réussi à opérer cette détermination dans un cas particulier intéressant, celui de l'aimantation permanente acquise par des aiguilles trempées dur, quand on les soumet à l'action de courants d'intensité variable.

On reconnaît d'abord sans peine que les aiguilles extraites par voie de rupture du centre d'une aiguille non saturée possèdent la même quantité de magnétisme que celle-ci, c'est-à-dire que la droite AB, caractéristique des aiguilles de rupture, est parallèle à A_1B_1, caractéristique des aiguilles mères. Cela posé, soit M_1 le point figuratif d'une aiguille dont on détermine le moment M_1P_1 et la longueur OP_1; brisons cette aiguille et tirons de son centre un fragment de longueur OP, dont nous déterminerons le moment PM. Le point A étant invariable pour toutes les aiguilles de rupture d'un même diamètre et le point M connu, on connaît la droite AM, et par suite M_1A_1, la quantité de magnétisme tangBAx, et la distance A_1P_1 des deux pôles de l'aiguille étudiée.

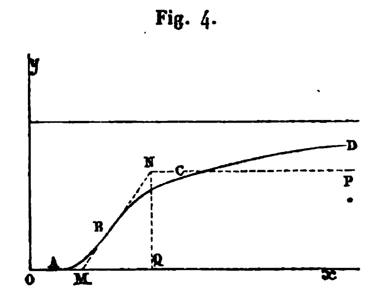
Les quantités de magnétisme développées dans le fer ou l'acier par des courants d'intensité variable ont déjà été étudiées par plusieurs physiciens, quoique en général par des méthodes fort compliquées. Le quotient de la quantité de magnétisme par ce qu'on peut appeler le volume réduit (1) de l'aimant est une fonction de la puissance magnétique qui aimante, absolument caractéristique de

(1) Nous appelons, pour abréger, la distance des deux pôles *longueur réduite*, et le produit de cette longueur par la section *volume réduit* des aiguilles.

la matière étudiée, et connue sous le nom de *fonction magnétisante*. On peut représenter aux yeux la marche de cette fonction à l'aide d'une courbe construite en prenant pour abscisses les forces magnétiques et pour ordonnées les valeurs correspondantes de la fonction. La courbe, d'abord très-voisine de l'axe des x, présente sa concavité aux ordonnées positives, puis s'infléchit et devient asymptote à une parallèle à l'axe des x. Ces résultats déjà connus n'avaient pas été étendus au cas de l'acier trempé très-dur, tel que j'ai eu occasion de l'étudier.

La courbe OABCD (*fig.* 4) obtenue dans mes expériences pré-

Fig. 4.



sente les caractères déjà décrits avec une netteté ou même une roideur d'allures qu'on ne retrouve pas au même degré dans les aciers plus doux. Elle rappelle une ligne brisée OMNP dont on aurait arrondi largement les angles obtus.

Il est à remarquer que l'hypothèse assez mal définie de la force coercitive rendrait, si on l'adoptait, un compte à peu près exact de cette manière d'être de la courbe. On compare habituellement l'effet de cette force à celui d'un frottement. Il semblerait donc qu'elle dût s'opposer à toute aimantation produite par une force magnétique inférieure à une certaine limite OM, à partir de laquelle l'aimantation croîtrait régulièrement jusqu'à une limite NQ égale à la plus grande quantité de magnétisme que la force coercitive puisse maintenir après la cessation de la force magnétisante. On aurait justement ainsi la ligne brisée OMNP. On s'explique par là comment l'hypothèse de la force coercitive, si insuffisante à tant d'autres égards, a pu permettre d'expliquer longtemps, d'une manière au moins qualitative, les principaux faits de l'aimantation permanente.

Je ne m'étendrai pas ici sur les résultats relatifs aux distances polaires. Je m'occupe en ce moment d'étendre les études qui précèdent à l'aimantation temporaire, et au cas pratique d'une trempe plus douce que celle des aiguilles que j'ai le plus souvent employées.

SÉANCE DU 21 MAI 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures.

Le procès-verbal de la séance du 7 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société M. Lemasson, chef de station de lignes télégraphiques.

M. H. Becquerel présente à la Société quelques observations sur le phénomène de la rupture d'un courant entre les deux pôles d'un électro-aimant.

M. Angot communique quelques-uns des renseignements intéressants qu'il a recueillis dans son voyage en Amérique; il expose en particulier les méthodes expérimentales employées par M. Rutherfurd pour photographier les constellations, et par M. Draper pour étudier, par la photographie, les spectres du Soleil et des étoiles.

M. Moreau continue ses études sur la vessie natatoire.

La séance est levée à 10 heures.

Note concernant l'action du magnétisme sur l'étincelle d'induction; par M. Henri Becquerel.

On sait que, si l'on interrompt entre les pôles d'un fort électro-aimant le courant électrique qui l'aimante, l'étincelle de l'extra-courant qui se produit en cette circonstance est accompagnée d'une véritable détonation. Cette étincelle prend la forme d'une petite flamme qui semble projetée par l'action de l'aimant, comme elle le serait par l'action d'un courant d'air.

Je me propose de démontrer que, dans cette circonstance, l'action du magnétisme est une action mécanique exercée sur la décharge d'induction, qui n'est autre qu'un courant électrique de durée très-courte.

En effet, on reproduit exactement les mêmes phénomènes en substituant à l'action de l'aimant celle du vent d'une soufflerie.

Une manière simple de faire l'expérience est de se placer dans les conditions citées plus haut et de rompre le courant électrique à l'abri de l'influence de l'électro-aimant, en soufflant fortement soit avec un soufflet, soit même avec la bouche, sur l'étincelle au moment de la rupture. On entend alors une petite explosion, aussi forte que celle qui avait lieu sous l'action de l'aimant, et l'étincelle de l'extra-courant prend la même forme de petite flamme. Plus le courant d'air est rapide, plus le bruit est intense.

Canal de sûreté des poissons; par M. Armand Moreau.

J'ai eu l'honneur de faire devant la Société quelques-unes des expériences qui font partie du Mémoire publié dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (1874, 23 février, 16 mars, 7 décembre). J'ai établi dans ce Mémoire la fonction hydrostatique de la vessie natatoire, en montrant, contrairement à l'opinion commune, qu'elle n'était que passive dans l'ascension et la descente du poisson, et qu'elle servait à la station en donnant au poisson la densité de l'eau à la faveur d'une variation dans la quantité du gaz contenu, variation qui se faisait proportionnellement à la pression, ce qui permet au poisson de trouver un équilibre parfait à toutes les pressions.

Cette adaptation, obtenue par un changement dans la quantité de gaz, ne se fait pas soudainement, mais avec une certaine lenteur, qui varie suivant les espèces et suivant des conditions anatomiques que je précise ailleurs. Aujourd'hui je viens appeler l'attention sur une disposition que j'ai trouvée chez un poisson commun sur nos côtes, le *Caranx tachurus* (Sinchard). Ce poisson possède un canal de sûreté à l'aide duquel il peut conjurer le danger des dilata-

tions qui accompagnent les ascensions rapides. Ce canal offre, au point de vue anatomique, des caractères remarquables : il est situé au-dessus de la vessie natatoire, il longe l'artère aorte du côté droit. Il s'ouvre dans la vessie à sa partie moyenne et à sa face dorsale, et il s'ouvre à l'extérieur par une fente dans la membrane muqueuse de la cavité des branchies du côté droit. On sait que le canal aérien qui appartient à plusieurs genres de poissons s'ouvre, au contraire, dans le tube digestif. Sur le Caranx vivant, j'ai vu les bulles d'air sortir quand la pression extérieure etait diminuée, et j'ai reproduit ce résultat en expérimentant sur des poissons morts appartenant à la même espèce. Parmi les poissons connus, aucun ne possède une vessie natatoire qui se présente comme un appareil hydrostatique aussi perfectionné.

SÉANCE DU 4 JUIN 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société : M. Cabanellas, lieutenant de vaisseau, à Cherbourg.

M. Ant. Bréguet indique le principe de deux appareils qui permettent de tracer une droite par un système de tiges articulées. Ces deux solutions nouvelles d'un problème résolu pour la première fois par M. Peaucellier sont dues l'une à M. Hart et l'autre à M. Kempe. L'un de ces appareils a été construit par M. Bréguet, qui le fait fonctionner sous les yeux de la Société.

M. Govi décrit une expérience ingénieuse très-simple destinée à démontrer l'exactitude de la théorie généralement admise pour l'induction électrique.

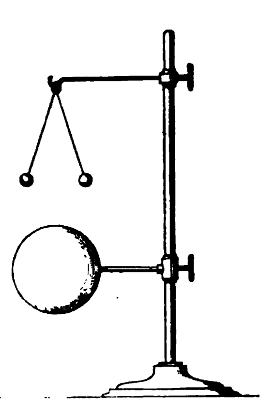
M. André raconte quelques épisodes de son voyage à Nouméa pour l'observation du passage de Vénus.

La séance est levée à 10 heures et demie.

Quelques expériences sur l'induction électrostatique;
par M. Govi.

Ces expériences sont destinées à démontrer que l'électricité induite de première espèce est douée de tension.

Si l'on place un corps sphérique électrisé au-dessous de deux petites boules en moelle de sureau, rattachées par des fibres de lin



à un anneau métallique isolé, on voit que, tout d'abord, les deux pendules divergent, et que leur divergence augmente quand on vient à les faire communiquer avec le sol.

En admettant que cette divergence provienne, comme on l'a prétendu, de l'*induction curviligne* exercée par la sphère inductrice, on devrait la voir cesser ou diminuer d'une manière sensible en supprimant l'induction. Or il n'en est rien, et, si la charge de l'inducteur est assez forte, sa distance convenable et la surface des deux petites boules assez grande par rapport à celle des fibres de lin et du petit anneau, on voit les deux pendules s'écarter davantage quand on vient à décharger l'inducteur à l'aide d'une pointe métallique non isolée qu'on en approche rapidement ([1]).

Cette divergence plus considérable des pendules vient de ce que l'inducteur, loin de les écarter par *induction curviligne,* exerçait

---

([1]) Ce mode de décharge a pour objet d'éviter l'agitation de l'air, et par conséquent les mouvements accidentels des pendules.

sur les boules induites une attraction qui tendait à les rapprocher.

Il est d'ailleurs évident que, si l'on entend par *tension électrique* l'effort des corps électrisés pour se rapprocher ou pour s'éloigner l'un de l'autre, l'écartement des petits pendules prouverait encore la tension de l'électricité induite opposée à l'inductrice, quand même il serait démontré qu'on le doit attribuer à ce que Faraday a désigné sous le nom d'*induction curviligne*.

La tension de l'électricité induite se manifeste encore très-nettement quand on termine l'induit isolé par *une pointe fine* tournée *directement* du côté de l'inducteur. Si, dans ce cas, l'air étant très-sec et les supports de l'induit parfaitement isolants ([1]), on laisse agir l'induction pendant quelques instants, on trouve que, immédiatement après avoir déchargé l'inducteur, l'induit garde une charge sensible d'électricité homonyme de l'induisante.

Tous les autres phénomènes qui ont pu faire naître dans quelques esprits l'idée *contradictoire* d'une *électricité induite privée de tension* s'expliquent aisément si l'on tient compte (ce qui n'a pas toujours été fait par les électriciens) de l'influence exercée sur l'inducteur par les corps isolés, ou non, que l'on approche de l'induit. On comprend alors, sans difficulté aucune, pourquoi l'on enlève seulement l'électricité induite homonyme de l'inductrice quand on vient à mettre en rapport avec le sol les parties du conducteur induit qui sont le plus rapprochées de l'inducteur.

Il faut se défier, dans ces recherches, des petits plans d'épreuve, qui donnent assez souvent des signes électriques contraires à la réalité, à cause de l'électricité induite du manche isolant auquel ils sont attachés. Cette source d'erreur avait été déjà signalée par Coulomb ([2]).

([1]) Cela n'arrive presque jamais quand on se sert de pieds de verre, vernis ou non à la gomme laque; mais on peut l'obtenir en suspendant l'induit par des fils de soie.

([2]) *Mémoires de l'Académie royale des Sciences;* année 1786, p. 74; année 1787, p. 426, et ailleurs.

SÉANCE DU 18 JUIN 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Lecoq de Boisbaudran (François).

M. Camacho écrit à M. le Président pour montrer, par la date de ses brevets, que ses recherches au sujet d'électro-aimants concentriques sont antérieures à celles pour lesquelles on avait fait des réclamations de priorité.

M. Marey montre les appareils qu'il a employés et indique les résultats les plus saillants qu'il a obtenus dans ses recherches sur la propagation des ondes par les liquides contenus dans des tubes élastiques.

M. Mascart indique les résultats des expériences réalisées par différents physiciens pour évaluer en valeurs absolues les différences de potentiel dans les piles électriques et dans les étincelles, ainsi que le débit des machines électriques; il insiste sur l'utilité de ce genre de recherches, qui permet de préciser les expériences et de les rendre comparables entre elles.

M. Jamin communique de nouveaux résultats sur la distribution du magnétisme dans les aimants. La loi de distribution, déterminée par la méthode du contact d'épreuve, en ayant soin d'éliminer les causes d'erreur dues à la conductibilité magnétique, peut être représentée par une formule exponentielle renfermant deux constantes, dont l'une ne dépend que de la nature du métal et l'autre du degré de trempe. En suivant cet ordre d'idées, M. Jamin a constaté qu'à diamètre égal la quantité de magnétisme que peut prendre un barreau varie en sens inverse de la trempe et qu'une barre de fer est celle qui s'aimante le plus, pourvu que la longueur de cette barre soit suffisante.

M. Lippmann présente un petit électromètre capillaire dans lequel on peut évaluer une force électromotrice par le déplacement d'une colonne de mercure dans un tube capillaire analogue à ceux

des thermomètres. L'instrument est de dimensions très-restreintes et permet d'apprécier le centième d'un élément Daniell.

La séance est levée à 10 heures un quart.

Mouvements des ondes liquides dans les tubes élastiques; par M. Marey.

Pour comprendre certains phénomènes de la circulation du sang, et en particulier les caractères du pouls, il faudrait savoir exactement d'après quelles lois se propage le mouvement des liquides dans des conduits élastiques assimilables aux vaisseaux artériels.

C'est ce que j'ai cherché à déterminer, au moyen de la méthode graphique, dans les expériences suivantes.

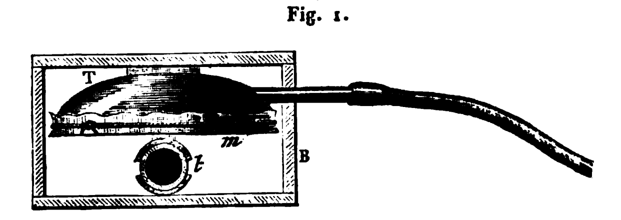
Quand une onde chemine dans un tube élastique, son passage se traduit par des changements successifs du diamètre de ce tube (ventres et nœuds), qui se propagent dans le même sens que l'onde.

Les choses se passent, dans le tube élastique, d'une manière assez analogue à ce qui se produit quand une onde liquide se propage à la surface du canal.

La méthode graphique permet de suivre ce transport de l'onde au moyen d'une série d'explorateurs placés sur le tube, les uns à la suite des autres, et dont chacun signale à son tour le passage de l'onde au-dessous de lui.

Voici la disposition de ces explorateurs :

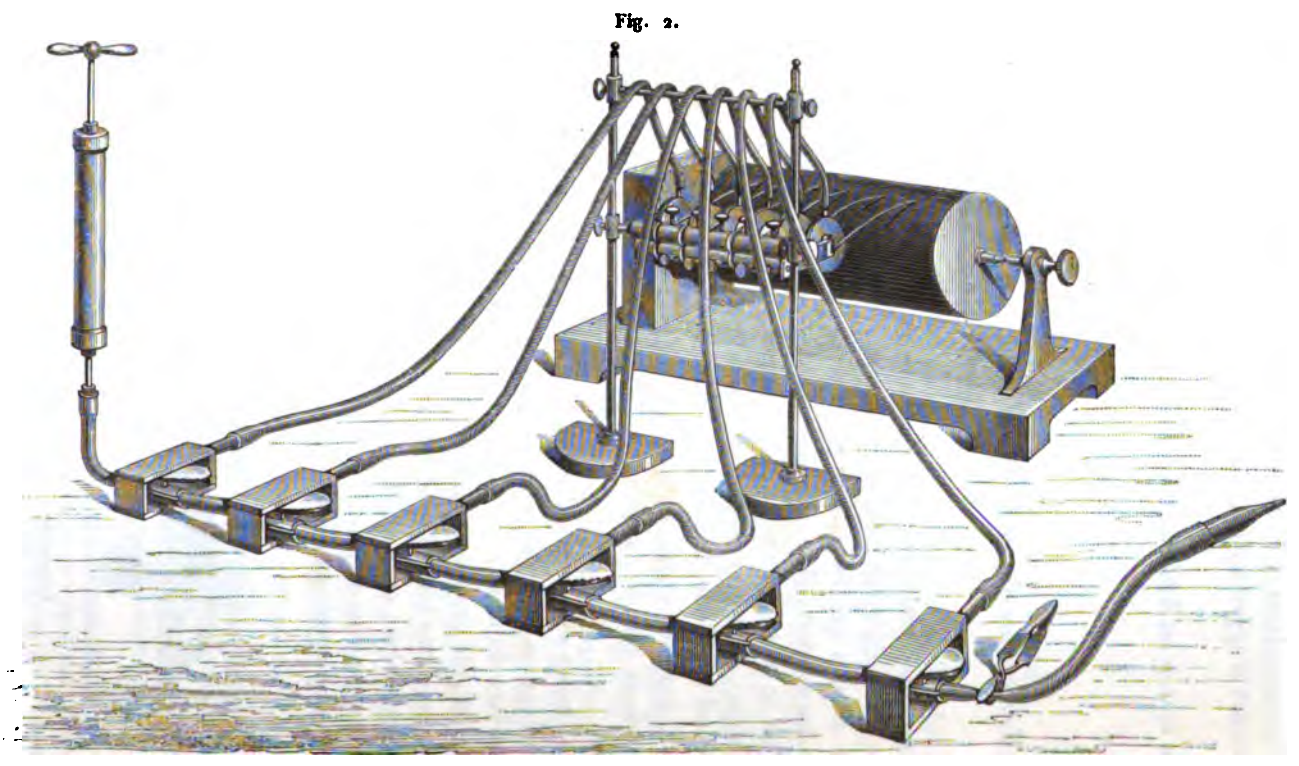
Fig. 1.



Disposition d'un explorateur de l'onde.

La *fig.* 1 représente une caisse rectangulaire B, ouverte à ses

Fig. 2.



Disposition de l'expérience pour inscrire les mouvements des ondes liquides.

deux bouts et traversée par le tube de caoutchouc *t*, sur lequel on explore le passage de l'onde. Ce tube, dont on ne voit ici que la coupe, est saisi entre deux demi-gouttières métalliques, dont l'inférieure adhère au fond de la caisse, tandis que la supérieure est fixée à une membrane de caoutchouc qui forme la paroi inférieure *m* d'une capsule T remplie d'air. Un tube de communication met l'air que renferme cette capsule en rapport avec la cavité d'une capsule semblable, dont la membrane actionne un levier inscripteur.

Lorsque le passage de l'onde dilate le tube de caoutchouc exploré, les deux demi-gouttières de métal tendent à s'écarter l'une de l'autre ; mais la supérieure étant seule mobile, c'est elle qui exécute la totalité du mouvement : elle comprime le tambour placé au-dessus d'elle et envoie au levier inscripteur le signal du passage de l'onde.

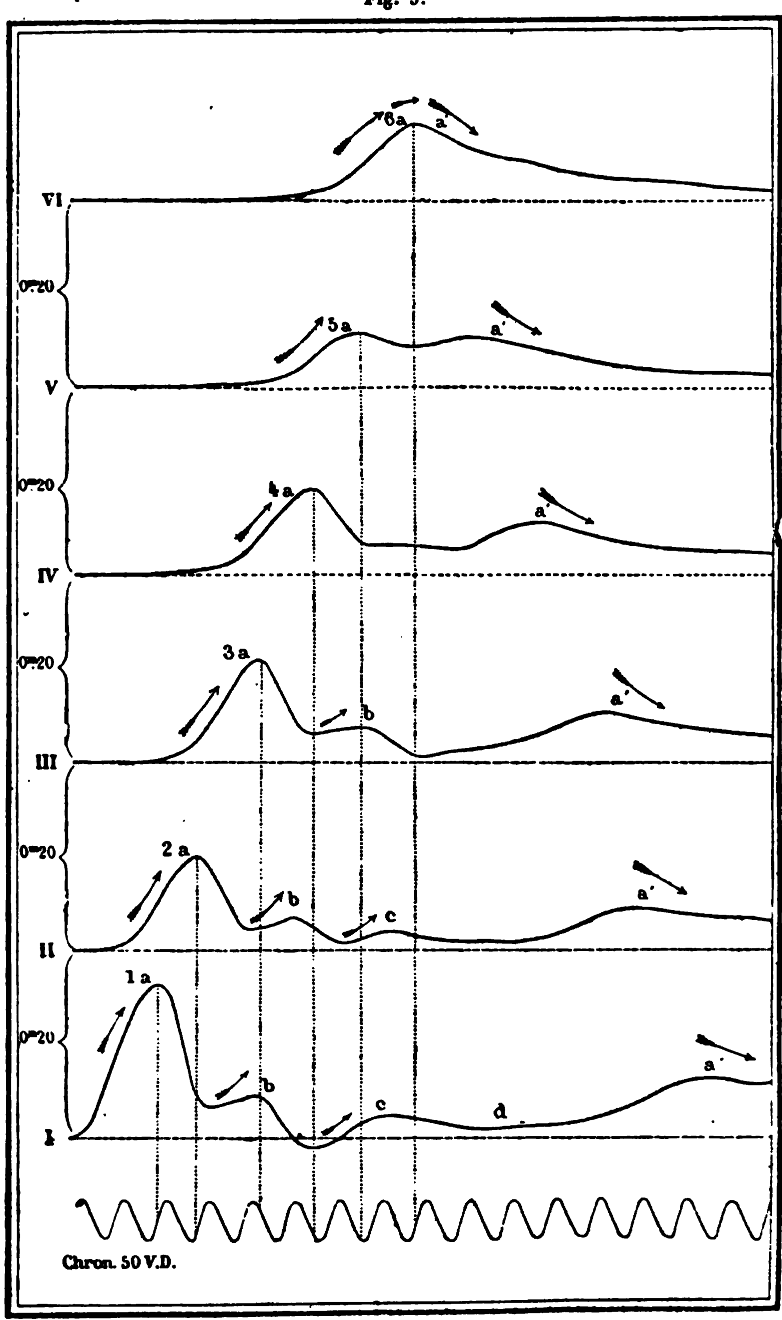
La *fig.* 2 représente la disposition de l'appareil complet.

Un tube horizontal de caoutchouc est rempli de liquide : à l'une de ses extrémités est une pompe, à l'autre un ajutage d'écoulement que l'on peut laisser ouvert ou fermé, suivant la nature de l'expérience. Le tube traverse une série de six petits explorateurs semblables à celui qui vient d'être décrit ; ces explorateurs sont placés à 20 centimètres les uns des autres ; le tube se prolonge au delà du dernier, mais on peut, au moyen d'une pince, le fermer immédiatement après son passage sous le sixième explorateur. De cette façon l'onde viendra heurter, en ce point, contre l'obstacle formé par la pince. Les six tambours à levier, dont chacun est actionné par un des explorateurs de l'onde, tracent sur un même cylindre, qui tourne avec une vitesse de 28 centimètres par seconde. Cette vitesse est contrôlée par un chronographe de 50 vibrations doubles par seconde.

Expériences sur le mouvement des ondes. — Onde positive dans un tube fermé à son extrémité.

L'appareil étant disposé comme dans la *fig.* 2, et le tube (déjà plein d'eau) fermé au sixième explorateur, on enfonce brusquement le piston de la pompe : l'eau s'élance dans le tube, les six leviers entrent en mouvement, et le tracé est inscrit sur le cylindre.

Fig. 3.



Mouvement d'une onde positive dans un tube élastique fermé.

L'œil suffit, quand l'onde n'est pas trop rapide, pour faire constater que le déplacement des leviers est successif. Leurs pointes se meuvent les unes après les autres comme si un souffle passait sur elles ; on voit même que, après une déviation dans le sens de l'impulsion du liquide, elles en indiquent une autre en sens inverse.

Mais l'analyse du tracé (voir *fig.* 3) permet seule de bien apprécier les détails du phénomène qui s'est produit.

La ligne des abscisses représente les temps ; chaque durée peut être évaluée en $\frac{1}{11}$ de seconde et en fractions, d'après le nombre de vibrations doubles du chronographe.

La ligne des ordonnées exprime les longueurs de tube, ou les espaces parcourus par l'onde. Entre deux explorateurs, il y a un intervalle de $0^{m},20$. Les distances verticales I à II, II à III,... correspondent donc à $0^{m},20$ de chemin parcouru par l'onde.

Les lettres *a*, *b*, *c*, *a'*, dans les six tracés superposés, marquent chacune le sommet d'une même onde, et permettent d'en suivre la marche. Une flèche indique le sens dans lequel se fait le transport. Ainsi 1*a*, 2*a*, 3*a*,..., 6*a* signalent la marche de la première *onde directe positive* qui, partant de l'orifice d'entrée où elle est signalée par l'explorateur n° 1, arrive à l'extrémité fermée du tube où elle se réfléchit. On peut alors suivre cette même onde pendant son retour ; elle est signalée par la lettre *a'*. Le lieu de la réflexion est indiqué par le changement de direction des flèches qui, d'ascendantes qu'elles étaient, deviennent descendantes.

Les ondes *secondaires* sont signalées par des lettres qui permettent également de les reconnaître ; ainsi *b* désigne la deuxième onde, *c* la troisième, *d* la quatrième. Ces ondes secondaires s'éteignent plus ou moins vite ; l'onde *b* ne dépasse pas le troisième explorateur, c'est-à-dire qu'elle s'éteint après un parcours de $0^{m},40$; l'onde *c* ne parcourt que $0^{m},20$; l'onde *d* ne parcourt pas $0^{m},20$.

La *vitesse* d'une onde quelconque se déduit du temps qui s'écoule entre l'instant de son apparition sous le premier explorateur et le moment où elle apparaît sous le second. Comme le début d'une onde se distingue moins facilement que le sommet, c'est de ce dernier point qu'on a mesuré les positions successives de l'onde. A cet effet, on abaisse une perpendiculaire du sommet de chaque onde 1*a*, 2*a*,... sur l'axe des abscisses et le tracé du chronographe. Dans cette expérience, l'onde parcourait la distance comprise entre deux

explorateurs (0^{m},20) en $\frac{1}{20}$ de seconde, ce qui porte sa vitesse à 10 mètres par seconde environ [1].

La vitesse des ondes peut encore se mesurer d'après l'inclinaison d'une ligne qui joindrait entre eux les pieds de chacune des perpendiculaires abaissées du sommet de la courbe sur l'abscisse de celle-ci. Dans le cas où cette vitesse serait uniforme, on aurait ainsi une ligne droite, ce qui n'a pas lieu dans la *fig.* 3.

La *longueur* d'une onde se déduit de l'espace qui sépare les origines ou les sommets de deux ondes successives à un même instant. Comme les sommets des courbes sont plus faciles à saisir, nous choisirons les premiers. Il s'agit donc de mesurer la longueur de tube qui sépare le sommet de l'onde *a* de celui de l'onde *b* qui marche derrière elle. Dans le tracé n° III, le sommet 3*a* de la première onde se trouve verticalement au-dessus du sommet *b* du tracé n° I. Ces deux sommets sont donc signalés au même instant par des explorateurs distants l'un de l'autre de 0^{m},40 ; l'onde a donc 0^{m},40 de longueur. On constaterait de même que du sommet 5*a* au sommet 3*b* la même longueur existe aussi.

Une série d'expériences a été faite sur différents tubes ouverts ou fermés, avec des liquides de densités différentes et des impulsions plus ou moins brusques. Nous ne ferons que reproduire les conclusions de ces expériences.

Conclusions.

1° Lorsqu'un liquide pénètre avec vitesse et d'une manière inter mittente dans un conduit élastique déjà plein, il se forme, dans la colonne liquide tout entière, des *ondes positives* qui se transportent avec une vitesse indépendante du mouvement de translation du liquide. Ces ondes semblent soumises aux lois générales des mouvements ondulatoires. Des appareils spéciaux permettent de les étudier.

2° La *vitesse* de transport d'une onde est proportionnelle à la force élastique du tube ; elle varie en raison inverse de la densité

---

(1) Il ne faut pas oublier que cette vitesse correspond à un certain diamètre et à une certaine élasticité du tube, et que, si les conditions changent, la vitesse change également.

du liquide employé : elle diminue graduellement pendant le parcours de l'onde ; elle croît avec la rapidité d'impulsion du liquide.

3° L'*amplitude* de l'onde est proportionnelle à la quantité de liquide qui pénètre dans le tube, et à la brusquerie de sa pénétration : elle diminue peu à peu pendant le parcours de l'onde.

4° Quand un afflux de liquide dans le tube est bref et énergique, il peut se faire, sous l'influence de cette impulsion unique, une série d'ondes successives qui marchent les unes à la suite des autres. *Ces ondes secondaires,* formées suivant les lois du mouvement vibratoire, ont des amplitudes graduellement décroissantes; en outre, elles peuvent être suivies plus ou moins loin sur le trajet du tube : les dernières formées, étant les plus faibles, s'éteignent les premières.

5° Quand une onde est suivie d'ondes secondaires, on peut mesurer la *longueur* de chacune d'elles, d'après l'intervalle qui sépare deux sommets consécutifs. La longueur d'une onde augmente quand diminuent sa vitesse et son amplitude.

6° Si, au lieu d'introduire du liquide dans le tube, on en retire au contraire une petite quantité, il se forme une *onde négative* qui est soumise aux mêmes lois que l'onde positive et peut être suivie d'ondes négatives secondaires.

7° Lorsque le tube dans lequel se forment les ondes est fermé ou suffisamment rétréci à son extrémité, il se forme des *ondes réfléchies* qui suivent un trajet rétrograde et reviennent à l'origine du tube. Ces ondes réfléchies se distinguent des ondes directes en ce que la compression du tube en aval du point exploré augmente l'intensité des ondes directes et supprime les ondes réfléchies. Au lieu où se fait la réflexion, l'amplitude des ondes augmente, ainsi qu'on l'observe à la surface d'un bassin, quand les ondes viennent en frapper les parois.

8° Si le liquide pénètre avec une grande rapidité dans un tube à parois peu extensibles, on voit se former ce qu'on pourrait appeler des *vibrations harmoniques;* elles sont surajoutées aux ondes principales; leur nombre est un multiple de celui des ondes. Ces harmoniques n'apparaissent pas à l'orifice d'entrée du tube, mais seulement un peu plus loin, et disparaissent près de l'extrémité opposée.

9° Quand le liquide pénètre dans le tube, en grande quantité

et pendant assez longtemps, son afflux prolongé s'oppose à l'oscillation rétrograde qui fait naître les ondes secondaires; toutefois celles-ci peuvent apparaître à une certaine distance de l'orifice d'entrée du tube.

10° Dans les tubes branchés, de calibre et d'épaisseur semblables, il se fait un mélange très-compliqué d'ondes qui passent d'un tube dans l'autre; mais, dans les conditions de la circulation du sang, l'aorte ne permet pas le passage des ondes d'une artère dans une autre. L'aorte a ses propres ondes qu'elle envoie dans toutes les artères, où elles se transforment plus ou moins; mais elle éteint et absorbe, comme un réservoir élastique, les ondes que chaque artère lui apporte, et elle ne les envoie point aux autres.

11° Quand de petits tubes de longueurs inégales sont branchés sur un tube plus gros, comme les artères le sont sur l'aorte, chacun de ces tubes est le siége d'ondes qui lui sont propres, qui se forment à son intérieur, et dont la longueur varie avec celle du tube.

Sur un nouvel électro-aimant;

(LETTRE DE M. CAMACHO.)

Paris, le 15 juin 1875.

Monsieur le Président,

J'ai appris qu'à la séance du 7 mai une réclamation de priorité a été élevée relativement au nouvel électro-aimant que j'ai présenté à la Société.

A cette réclamation, je n'ai à répondre qu'une chose.

Mon brevet, pris en Amérique (États-Unis), date du 16 juillet 1872.

Les brevets pris en France, en Angleterre, en Belgique, etc., datent du 24 octobre 1873.

José S. Camacho.

Sur un cas singulier d'aimantation; par M. J. JAMIN.

(SÉANCE DU 19 MARS 1875.)

Je dois à la complaisance de M. Bertrand de m'avoir fait connaître un cas singulier d'aimantation que Galilée a observé et qu'il a décrit dans une Lettre adressée en 1607 à Curzio Picchena. Il s'agit d'une pierre d'aimant tout à fait extraordinaire.

« Elle était si puissante qu'en approchant la pointe d'un cimeterre à une distance égale à l'épaisseur d'une piastre d'argent, on ne pouvait plus le retenir, et même qu'une personne solide appuyant le cimeterre contre sa poitrine ne pouvait résister à l'entraînement. J'y ai découvert un autre effet admirable et que je n'ai jamais rencontré dans aucun autre aimant : un même pôle attire et repousse le même morceau de fer. A la distance de 4 ou 5 doigts au moins, il attire le morceau de fer; mais, à la distance de 1 doigt, il le repousse. Si l'on place le morceau de fer sur une table et qu'on mette l'aimant très-près, le morceau de fer s'écarte et fuit devant l'aimant qu'on pousse derrière lui; mais, si l'on retire l'aimant, au moment où la distance devient de 4 doigts, le morceau de fer est attiré et suit l'aimant qu'on éloigne, mais il n'approche pas à plus de 1 doigt. »

La pierre fut achetée par le Grand-Duc : Galilée put l'étudier à loisir, et il résulte de ses expériences ultérieures que le morceau de fer dont il est précédemment question était de l'acier aimanté, car la pierre attirait le fer doux à toute distance et soulevait 6 livres de cette substance. En résumé, elle avait la propriété d'attirer de loin et de repousser de près le même pôle d'un barreau d'acier. Elle a malheureusement été perdue.

La suite de mes recherches m'a fait rencontrer, sans la chercher, une aimantation toute pareille et qui n'a rien de mystérieux.

Je rappellerai d'abord qu'on peut aimanter un barreau d'acier à saturation par un courant très-énergique, et donner à l'une des moitiés une aimantation australe que j'appellerai *positive*, qui pénètre jusqu'au cœur même du barreau. Cela fait, je soumets ce même barreau à un courant inverse d'abord très-faible, puis croissant, qui détermine une aimantation boréale ou négative, limitée d'abord à la surface extérieure et pénétrant ensuite à des profon-

deurs croissantes, tout en laissant subsister des couches positives au-dessous d'elle. L'effet observé n'est que la différence des actions exercées à l'intérieur par les deux aimantations superposéés; il est d'abord positif, puis nul et enfin négatif. Je m'arrête quand ce changement de signe est opéré.

Je dissous ensuite l'acier dans un acide, et il est évident que j'enlève ainsi, peu à peu, les couches extérieures boréales ou négatives pour mettre au jour les strates sous-jacents austraux; que l'aimantation observée, d'abord négative, diminue, s'annule et change de signe. Ces résultats ont été déjà communiqués à l'Académie.

Il me reste à ajouter que les couches australes ne sont pas découvertes partout en même temps. Elles commencent par percer à l'extrémité, surtout aux arêtes et aux coins, comme des sommets très-aigus, très-limités. Elles y ont une grande tension, mais leur moment magnétique est petit, parce qu'elles occupent une très-petite surface. En même temps règne une couche boréale non interrompue depuis l'extrémité jusqu'à la ligne moyenne : c'est le reste des couches extérieures que l'érosion n'a point enlevées. L'intensité y est presque nulle en chaque point; mais, la surface étant très-grande, la quantité et le moment de ce magnétisme boréal sont considérables, plus considérables que la quantité et le moment des sommets austraux qui percent à l'extrémité même; d'où il suit que cette moitié du barreau se tourne vers le sud comme si ces sommets n'existaient pas.

Approchons peu à peu le pôle austral ou nord d'un aimant ordinaire; tant qu'il sera loin, il subira l'effet prédominant des couches boréales de notre barreau et sera attiré; mais, si on l'approche contre l'extrémité même, il se trouvera à très-petite distance des pointes australes qui occupent cette extrémité; leur effet l'emportera, et il y aura répulsion : ainsi, attraction à distance, répulsion au contact, c'est le cas de la pierre de Galilée; et, ce qui n'est pas moins curieux, au contact, répulsion des extrémités qui se dirigent vers les pôles contraires de la Terre, attraction des extrémités qui se tournent du même côté. A une distance suffisante, le sens des actions a changé et tout rentre dans l'ordre habituel.

SÉANCE DU 2 JUILLET 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Daguenet, professeur au lycée de Laval.

M. Gernez résume ses expériences sur l'évaporation des liquides surchauffés. Il rappelle que dans des tubes de verre dont la couche superficielle a été dissoute par des lavages à la potasse pure, à l'eau et à l'alcool, les liquides, chauffés au bain-marie, peuvent être portés à des températures très-élevées au-dessous du point normal d'ébullition. La température des liquides ainsi surchauffés reste constante, et il en est de même de la vitesse de l'évaporation. Cette vitesse est indépendante de la nature du milieu dans lequel se produit l'évaporation. Elle augmente, toutes choses égales d'ailleurs, avec la température extérieure, mais moins vite que ne l'indique la loi proposée par Dalton pour l'évaporation de l'eau aux températures ordinaires. Enfin elle augmente beaucoup lorsque la surface d'évaporation diminue, mais dans des proportions moins considérables que ne varie le rapport de la surface de chauffe au volume du liquide chauffé.

M. Pénaud donne à la Société lecture d'un Mémoire relatif au vol des oiseaux.

Aviation. — Appareils de vol mécanique; par M. A. Pénaud [1].

De nombreux essais de vol mécanique ont été faits à différentes époques, à l'aide d'organes de toute nature, tels que hélices, ailes battantes, parapluies conjugués, plans inclinés, roues aériennes, etc. Cependant, malgré l'intérêt de plusieurs de ces tentatives, l'hélicoptère était, jusque dans ces dernières années, le seul type de machine automotrice qui eût réussi à s'enlever. Plusieurs de ces héli-

(1) Les recherches de l'auteur sur le vol aérien ont été jugées, par l'Académie des Sciences, dignes d'une récompense, qui a été décernée dans la séance du 11 juin 1875.

coptères ont été construits depuis 1784, époque à laquelle Bienvenu fit voler le premier. Le plus connu et le plus parfait était celui que M. Ponton d'Amécourt construisit en 1864, et qui s'élevait un instant d'un mouvement brusque à une hauteur de $2^{m},50$ environ. Il était formé de deux hélices superposées et de pas contraires, mises en action par un ressort de montre.

Tous les autres systèmes d'aviation, et entre autres le vol à l'aide d'ailes battantes à la manière des oiseaux, restaient toujours non réalisés et livrés à la discussion, au milieu de théories fort opposées.

En commençant nos études, nous pensâmes que le meilleur moyen de s'opposer à la multiplicité des théories et des idées contradictoires serait de diviser les appareils volants imaginés en un petit nombre de types généraux, de réduire ensuite chacun de ces types à ses éléments essentiels, enfin de réaliser un appareil volant de chacun de ces types ainsi simplifiés, en lui donnant un aspect bien démonstrateur et une construction facile à imiter.

Négligeant des conceptions trop visiblement défectueuses, nous crûmes pouvoir diviser la grande majorité des systèmes d'aviation proposés en hélicoptères, aéroplanes et orthoptères. Les hélicoptères se soutiennent à l'aide d'hélices dont les axes diffèrent peu de la verticale. Leur translation peut être obtenue, soit par ces hélices de suspension elles-mêmes, soit à l'aide d'hélices propulsives spéciales. Les aéroplanes sont des surfaces à peu près planes, inclinées d'un petit angle sur l'horizon et poussées horizontalement par des propulseurs qui sont, en général, des hélices. Enfin les orthoptères ont pour organes principaux des surfaces animées de mouvements à peu près verticaux et alternatifs le plus souvent. C'est dans ce système que rentrent les ailes des oiseaux et les surfaces à mouvements de queue de poisson.

La connaissance de la résistance de l'air nous parut la clef du fonctionnement d'appareils qui devaient se soutenir en l'air uniquement en s'appuyant dynamiquement sur le fluide avec leurs surfaces. Nous entreprîmes une étude attentive de quelques points mal connus et qui nous semblèrent capitaux : l'hélice ascensionnelle, le plan incliné aérien, la recherche d'un principe d'équilibre. L'hélice propulsive était bien connue par son effet sur les navires. Ces recherches, qui nous conduisirent à un petit nombre de lois générales très-simples, nous permirent de préciser le fonc-

tionnement et les proportions d'ensemble des appareils que nous voulions essayer de construire.

Restait à trouver un moteur. La force des ressorts solides était seule d'un emploi simple ; mais le bois, la baleine, l'acier ne fournissent qu'une force minime eu égard à leur poids ; le caoutchouc était bien plus puissant, mais la charpente nécessaire pour résister à sa violente tension était nécessairement assez lourde. Nous eûmes alors l'idée d'employer l'élasticité de torsion du caoutchouc, qui donna enfin la solution de la construction facile, simple et efficace des modèles volants démonstrateurs.

Nous appliquâmes d'abord à l'hélicoptère le nouveau moteur, après avoir étudié, aux diverses torsions successives du caoutchouc, son action si favorable et si curieuse. En avril 1870, nous présentâmes à M. de la Landelle des modèles semblables à celui que je mets sous les yeux de la Société. Vous le voyez s'élever, aussitôt libre, planer en décrivant de grands cercles, et se maintenir en l'air pendant un temps assez notable.

L'énorme supériorité de ce résultat sur celui des hélicoptères antérieurs nous enhardit à appliquer notre moteur aux autres systèmes d'aviation. Le 18 août 1871, nous réussissions à faire évoluer, en présence de la Société de navigation aérienne, un aéroplane à hélice, que je vais faire voler devant vous. L'appareil descend d'abord un instant suivant une ligne oblique, tandis qu'il prend sa vitesse, il se relève ensuite et décrit un cercle dans la salle, beaucoup trop petite, en s'élevant sur une rampe continue. Par malheur l'aéroplane est arrêté dans sa translation rapide par la rencontre d'une colonne de fonte qu'il vient frapper avec force.

Directement mesuré en dehors de toute théorie, le travail dépensé par l'aéroplane et l'hélicoptère se trouvait relativement modéré et n'avait rien de commun avec les fabuleuses évaluations données jadis par Navier. Il était dès lors démontré que la force des oiseaux, tout en étant notablement plus grande à poids égal que celle des mammifères, n'avait rien de contraire à la raison.

La marche de ces appareils, en confirmant d'une façon complète nos idées et nos calculs sur la résistance de l'air [1], nous encouragea

(1) J'ai développé au tableau, devant la Société, le calcul du travail que dépensent pendant le vol l'hélicoptère et l'aéroplane.

à tenter la construction d'un oiseau mécanique à ailes battantes. La diversité des théories du vol proposées en France et en Angleterre, tout en témoignant de la difficulté de cette construction, lui donnait un intérêt spécial.

Les résultats des oiseaux mécaniques essayés jusqu'alors étaient fort décourageants. M. Artingstall et M. Marey avaient seuls obtenu un effet utile. M. Artingstall a fait, paraît-il, il y a une trentaine d'années, voler un oiseau à vapeur au bout d'un tube articulé sur une chaudière génératrice. M. Marey, dont on connaît les belles expériences physiologiques, a construit, en 1870, des insectes artificiels qui, attelés à un petit manége et munis d'un contre-poids égal aux deux tiers de leur propre poids, s'élevaient et tournaient en battant des ailes. L'air comprimé qui les animait leur était envoyé au travers de l'axe du manége par une pompe à air manœuvrée à la main. Il restait à gagner encore les $\frac{2}{3}$ restants du poids en perfectionnant l'action de l'aile, et à faire emporter aux appareils leur moteur, au lieu de les mettre en mouvement par une force extérieure.

Au milieu des théories diverses de l'aile que donnaient Borelli, Huber, Dubochet, Strauss-Durckeim, Liais, Pettigrew, Marey, d'Esterno, de Lucy, Arstingstall, etc., et des mouvements si compliqués qu'ils assignaient à cet organe et à chacune de ses plumes, mouvements dont la plupart étaient inimitables pour un appareil mécanique, nous nous décidâmes à chercher nous-même par le raisonnement seul, appuyé sur les lois de la résistance de l'air et quelques faits d'observation la plus simple, quels étaient les *mouvements rigoureusement nécessaires de l'aile*. Nous trouvâmes : 1° *une oscillation double,* abaissement et relèvement, transversale à la trajectoire suivie par le volateur ; 2° *le changement de plan de la rame* pendant ce double mouvement ; la face inférieure de l'aile regardant en bas et en arrière pendant l'abaissement, de façon à soutenir et à propulser ; cette même face regardant en bas et en avant pendant le relèvement, de façon que l'aile puisse se relever sans éprouver de résistance sensible et en coupant l'air par sa tranche, tandis que l'oiseau se meut dans les airs. Ces mouvements étaient d'ailleurs admis par un grand nombre d'observateurs, et fort nettement exposés en particulier par Strauss-Durckeim et MM. Liais et Marey.

Mais, en considérant la difficulté de la construction de notre oiseau mécanique, nous dûmes, malgré notre désir de faire un

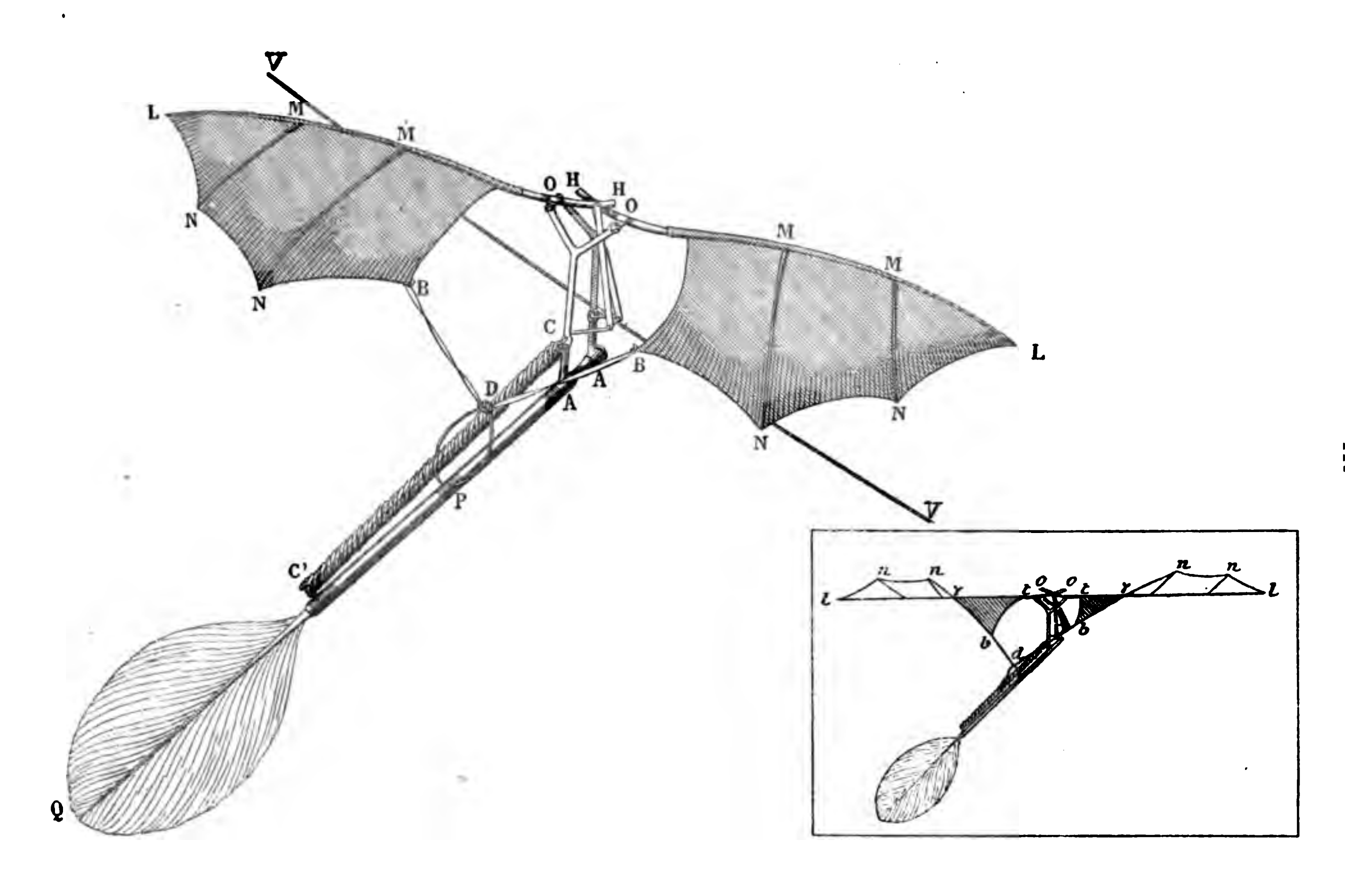
appareil simple et facile à comprendre, chercher à perfectionner ce jeu un peu sommaire. Il est évident d'abord que les différentes parties de l'aile, depuis sa racine jusqu'à son extrémité, sont loin d'agir sur l'air dans les mêmes conditions. La partie interne de l'aile, dénuée de vitesse propre, ne saurait produire aucun effet propulsif à aucune période du battement, mais elle est loin d'être inutile, et l'on comprend que pendant la rapide translation de l'oiseau dans l'espace elle peut, en présentant sa face inférieure en bas et un peu en avant, faire cerf-volant pendant le relèvement comme pendant l'abaissement, et soutenir ainsi d'une façon continue une partie du poids de l'oiseau. La partie moyenne de l'aile a un jeu intermédiaire entre celui de la partie interne de l'aile et celui de la partie externe ou rame. De la sorte, l'aile, pendant son action, est tordue sur elle-même d'une façon continue depuis sa racine jusqu'à son extrémité. Le plan de l'aile à sa racine varie peu pendant la durée des battements; le plan de l'aile médiane se déplace sensiblement, de part et d'autre de sa position moyenne; enfin la rame, et surtout sa portion extrême, éprouvent des changements de plans notables. Ces gauchissements de l'aile se modifient à chaque instant du relèvement et de l'abaissement, dans le sens que nous avons indiqué; aux extrémités de ses oscillations l'aile est à peu près plane. Le jeu de l'aile se trouve ainsi intermédiaire entre celui d'un plan incliné et celui d'une branche d'hélice à pas très-long et incessamment variable.

Malgré les différences de leurs théories entre elles et avec celle-ci, divers auteurs nous donnaient, tantôt l'un, tantôt l'autre, des confirmations de la plupart de ces idées. Ainsi la torsion de l'aile avait été déjà très-bien signalée par Dubochet et M. Pettigrew, qui a longuement insisté à son égard; il a seulement pris, selon nous, le galbe du relèvement pour celui de l'abaissement, et *vice versa*. Ces auteurs ont bien vu comment les articulations osseuses, les ligaments de l'aile, l'imbrication et l'élasticité des pennes concouraient à cet effet. M. d'Esterno avait expliqué l'effet continu de cerf-volant de la partie interne de l'aile pendant son abaissement et son relèvement, et M. Marey avait donné à cette partie de l'aile l'épithète heureuse de « passive », tout en accordant un rôle prépondérant, dans le vol, à un changement de plan général de l'aile, dû à la rotation de l'humérus sur lui-même.

Selon nous, il y a une distinction complète à établir entre le vol sur place et le vol avançant ordinaire, et l'amplitude des changements de plans de la rame est essentiellement fonction de la vitesse de translation du volateur. A l'extrémité de l'aile, où se produisent les changements de plans les plus considérables, ils atteignent 90 degrés et plus dans le vol sur place, mais ils sont bien moindres dans le vol avançant. D'après nos calculs, les portions extrêmes de la surface de la rame du corbeau ne sont, en plein vol, inclinées vers l'avant pendant l'abaissement que de 7 à 11 degrés au-dessous de l'horizon, et de 15 à 20 degrés au-dessus pendant le relèvement. Le plan de l'aile à sa racine fait d'ailleurs, pendant ce temps, cerf-volant sous un angle de 2 à 4 degrés seulement.

Il est facile de vérifier la petitesse des inclinaisons de l'aile et, par suite, de ses angles d'attaque sur l'air, en regardant voler un oiseau qui se meut sur un rayon visuel horizontal. On ne voit, en effet alors, à peu près que la tranche de ses ailes. Il est, en somme, inexact de dire que l'aile change de *plan ;* à peine pourrait-on dire qu'elle change de *plans*. La vérité est qu'elle passe d'une façon continue par une série de gauchissements gradués et d'une intensité généralement assez faible. C'est du reste ainsi que l'avait compris un auteur anglais, dont nous avons retrouvé les travaux depuis la construction de notre oiseau, et dont la connaissance nous eût évité plusieurs recherches. La théorie de sir G. Cayley, publiée en 1810, ne diffère de la nôtre que par un petit nombre de points ; il pensait que la rame remontante a toujours une action propulsive, et il attribuait aux parties propulsives et cerf-volant de l'aile des proportions relatives inverses de celles que nous avons été conduit par le calcul à leur attribuer.

C'est avec ces idées, qui ont été jugées favorablement par l'Académie au dernier Concours de Mathématiques, que nous entreprîmes, en septembre 1871, l'application du caoutchouc tordu au problème de l'oiseau mécanique. Les ailes de notre oiseau battent dans un même plan par l'intermédiaire de bielles et d'une manivelle. Après quelques essais grossiers, nous reconnûmes la nécessité d'avoir, pour cette transformation de mouvement, un mécanisme très-solide relativement à son poids, et je m'adressai à un habile mécanicien, M. Jobert, pour la construction d'un mécanisme d'acier, que mon frère, M. E. Pénaud, avait imaginé. La figure ci-jointe


V
L
M
M
O
H
H
O
M
M
N
N
B
C
L
B
A
D
A
N
N
P
V
C'
Q
l
n
n
r
t
o
o
t
r
n
n
l
b
b
d

représente l'appareil que nous arrivâmes à construire. CC' est le caoutchouc moteur placé au-dessus de la tige rigide qui sert de colonne vertébrale à l'appareil, ACOH le mécanisme des battements, VV un volant régulateur. En Q est une queue régulatrice formée de préférence par une longue plume de paon, que l'on peut incliner vers le haut, le bas ou par côté, et que l'on peut aussi charger de cire, de façon à amener le centre de gravité de tout l'appareil au point convenable.

Les gauchissements des ailes OL sont obtenus par la mobilité du voile de l'aile et des petits doigts MN qui le supportent autour de la grande nervure OML, qui ne participe pas à la rotation. Un petit tenseur en caoutchouc DB part de l'angle intéro-postérieur de la surface de l'aile, et vient s'attacher d'autre part vers le milieu de la tige centrale de l'appareil. Ce tenseur, dont la fonction est semblable à celle de la patte postérieure de la chauve-souris, joue le rôle d'écoute élastique par rapport à notre aile, qui ressemble si bien à une voile aurique. Les torsions de l'aile se trouvent ainsi réglées automatiquement, et suivant les besoins, par l'action combinée de la pression de l'air et de ce ressort de rappel.

Le tiers interne de l'aile fait cerf-volant pendant le relèvement comme pendant l'abaissement de l'aile. Les deux tiers externes, correspondant aux rémiges des oiseaux, propulsent et soutiennent pendant l'abaissement. Le petit croquis situé dans l'angle de la figure montre les ailes en train de s'abaisser. Pendant le relèvement la rame se module sur le sillage sinusoïdal qu'elle parcourt dans l'air, de façon à ne faire que fendre le fluide sans s'appuyer sur lui. Pour le départ, l'appareil est simplement abandonné en l'air à la main.

Cet appareil fut présenté, le 20 juin 1872, à la Société de Navigation aérienne et franchit, à plusieurs reprises, la salle des séances, de 7 mètres de longueur, en s'élevant d'une façon continue par un vol accéléré, suivant une rampe de 15 à 20 degrés. En espace libre, l'oiseau parcourait 12 à 15 mètres et parvenait à 2 mètres environ au point le plus haut de sa course. Je vais laisser s'envoler l'oiseau mécanique que j'ai construit. Suivez ses mouvements : l'oiseau, soutenu et propulsé par de vifs battements, s'élance d'un mouvement accéléré en s'élevant en ligne droite suivant une rampe de 10 degrés environ. Il traverse la salle avec rapidité et vient frapper la muraille sur laquelle il rebondit obliquement, continue son vol

malgré le choc et va heurter une des bibliothèques, puis enfin le bureau, sur lequel il s'arrête.

C'est ainsi, Messieurs, que se trouve établie dans ses trois types fondamentaux la démonstration de l'aviation.

SÉANCE DU 16 JUILLET 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Raffard, ingénieur.

M. Marié-Davy communique à la Société quelques-uns des résultats obtenus à l'Observatoire de Montsouris sur les mesures actinométriques et sur les relations qui existent entre la végétation des plantes et la quantité de lumière qu'elles reçoivent.

M. Niaudet-Bréguet présente un niveau manométrique imaginé par M. Galland.

L'appareil se compose essentiellement de deux petits réservoirs réunis par un tube de caoutchouc, le tout étant rempli d'eau. Un des réservoirs est formé d'une boîte de baromètre métallique à aiguille qui donne la différence des pressions dans les deux réservoirs et, par suite, la différence des niveaux auxquels ils ont été portés. M. Niaudet indique les applications de cet instrument soit à la topographie, surtout pour les cas où les appareils sont en défaut.

M. Cazin communique les résultats des observations qu'il a effectuées à l'île Saint-Paul relativement à la déclinaison et aux variations diurnes de la déclinaison.

M. Janssen présente à la Société une photographie du passage de Vénus sur le Soleil et donne quelques détails sur l'observation du mirage en mer, qu'il a eu l'occasion de faire pendant son dernier voyage.

Météorologie appliquée à l'agriculture; par M. Marié-Davy.

L'étude de l'action exercée sur la végétation par les variations du temps est une des principales applications de la Météorologie; mais, pour que ces recherches soient réellement fructueuses, il ne suffit pas d'établir des rapprochements entre l'état du temps et l'aspect extérieur des récoltes, il faut suivre la plante pas à pas, en y employant les ressources des analyses chimiques et physiologiques.

On sait déjà, par les expériences de Guettard, de Daubeny, de Sachs, de Dehérain, que, si la plante est, comme tous les corps humides, soumise à l'évaporisation physique, elle est en même temps le siége d'un autre phénomène purement physiologique, l'excrétion de l'eau par ses stomates, excrétion qui est sous la dépendance directe des rayons solaires et qui s'effectue aussi bien dans un air saturé, en vase clos, qu'à l'air libre.

Nous avons suivi le phénomène de transpiration jour par jour pendant deux mois, au moyen de la balance, et nous avons noté en même temps la température et le degré actinométrique. Les résultats de ces comparaisons, faites sur trois touffes de blé bleu, sont compris dans le tableau suivant :

PÉRIODES.	RAPPORT ENTRE LE POIDS DE L'EAU TRANSPIRÉE ET	
	la température.	le degré actinométrique moyen.
Du 1 au 5 juin...........	0,38	0,99
6 au 10 »	0,65	1,10
11 au 15 »	0,79	1,79
16 au 20 »	0,65 (*a*)	1,22 (*a*)
21 au 25 »	0,92	1,99
26 au 30 »	0,80	2,17
1 au 5 juillet.........	0,67	1,90
6 au 10 »	0,66	1,86
11 au 15 »	0,70	1,54
16 au 20 »	0,39	0,86
21 au 25 »	0,27	0,61
26 au 30 »	0,13	0,32

A part la période du 16 au 20 juin, pendant laquelle l'humidité du sol a été réduite, ce qui a réduit aussi la transpiration, les rapports de la transpiration à l'éclairement suivent une marche régulière, qu'on retrouve aussi, mais à un moindre degré, pour les températures, parce que, en juin et juillet, le thermomètre est, en général, plus haut par les beaux temps que par les temps couverts; mais on remarquera que le rapport entre le fait physiologique de la transpiration et son excitant, la lumière, n'est pas constant; qu'il passe par un maximum suivant de très-près la floraison. C'est à cette époque que correspond le maximum d'activité végétale de la plante. A partir de ce moment, ses besoins en eau diminuent rapidement jusqu'à la maturité.

Nous avons voulu voir ce qu'il advenait de la plante même. Pendant deux années, du blé bleu a été semé dans nos douze cases de végétation, des échantillons en ont été prélevés chaque quinzaine et analysés par M. Albert Lévy. La première année, le dosage a porté sur les substances minérales; la seconde, il a porté sur l'azote. En voici les résultats :

Poids des substances ramenées au mètre carré, moyenne de 11 cases.

DATE DE LA PRISE d'échantillon.	POIDS DE LA PLANTE desséchée.	CENDRE.	SILICE.	ACIDE SULFURIQUE.	ACIDE PHOSPHORIQUE.	POTASSE.	CHAUX.
	gr	gr	gr	gr	gr	gr	gr
2 mai...	813	91,0	17,8	6,2	5,2	32,3	5,3
19 mai...	1129	100,4	21,8	8,5	5,6	38,2	7,1
8 juin..	1643	109,5	34,1	11,0	6,9	29,8	8,6
24 juin..	1673	96,4	39,1	7,8	8,5	28,8	6,1
8 juillet.	1341	70,9	28,9	5,2	5,6	18,6	5,2
22 juillet.	1233	"	"	"	"	"	"

Le poids total de la plante, desséchée à l'étuve, a été en croissant jusque un peu après la floraison, puis il a diminué d'une manière très-marquée. Un pareil maximum se rencontre pour toutes les substances minérales; sa date seule change de l'une à l'autre. Le même phénomène a lieu pour l'azote, comme il résulte du résumé suivant des analyses de 1875 :

	14 avril.	3 mai.	15 mai.	31 mai.	15 juin.	1er juillet.	16 juillet.
Tige complète à l'état frais........	gr 0,69	gr 2,39	gr 3,90	gr 3,90	gr 7,00	gr 4,80	gr 3,10
Tige desséchée à l'étuve...........	0,13	0,39	1,69	2,53	3,16	2,81	2,72
Tige sans épi, desséchée..........	0,13	0,39	1,69	2,07	1,99	1,43	0,99
Épi plein, desséché..............	//	//	//	0,45	1,18	1,39	1,73
Azote total de la tige et de l'épi...	mgr 5,4	mgr 8,7	mgr 15,1	mgr 28,2	mgr 34,6	mgr 29,7	mgr 26,9
» » de la tige.............	5,4	8,7	15,1	22,7	18,3	9,9	3,7
» » de l'épi...............	//	//	//	5,5	16,4	19,8	23,2

Le poids de la tige à l'état frais passe par un accroissement subit, le 15 juin, à la suite des pluies; le poids sec en est peu influencé, mais son maximum est évident. Nous retrouvons ce maximum dans le poids total de l'azote. Ce maximum semble avoir échappé à M. Isidore Pierre dans son beau travail sur le développement du blé. L'accroissement continu de l'épi aux dépens de la tige avait, au contraire, été mis en évidence par lui.

Il y a donc deux phases bien distinctes dans la vie du blé : dans la première, la plante assimile; elle prépare ses réserves qu'elle emploiera, dans la seconde, à la formation du grain.

Mais, en outre de sa fonction spéciale d'assimilation, la plante est un être vivant, respirant et consommant comme l'animal. Une partie des principes élaborés par elle sous l'action de la lumière est brûlée par elle dans ses tissus. L'azote et les matières minérales contenues dans la portion de ces principes décomposée par la combustion lente qu'alimente la respiration vraie de la plante redeviennent plus ou moins complétement libres et retournent dans l'air ou dans le sol, à moins qu'elles ne soient reprises par les forces assimilatrices. Durant la première phase de la végétation, l'assimilation très-active l'emporte sur la consommation, le poids total grandit; dans la seconde phase, l'assimilation diminue, la consommation l'emporte, et le poids total s'amoindrit.

Dans ces deux périodes si distinctes, les changements du temps ont nécessairement des influences diverses, et il n'est pas exact de totaliser pour le blé les sommes d'eau, de chaleur et de lumière qu'il a reçues depuis l'époque du semis jusqu'à la maturité. C'est dans la

première phase de la végétation, et surtout aux environs de la floraison, qu'elles auront le plus d'action.

Nous résumons dans le tableau suivant les éléments météorologiques principaux des trois dernières années; chaque nombre de ce tableau représente le total par mois des températures moyennes diurnes, des moyens degrés actinométriques diurnes, ainsi que le total des pluies :

MOIS.	1873.			1874.			1875.		
	Pluie.	Chaleur.	Lumière.	Pluie.	Chaleur.	Lumière.	Pluie.	Chaleur.	Lumière.
	mm	o	o	mm	o	o	mm	o	o
Janvier	37,3	152	440	23,1	146	397	63,2	167	363
Février	59,1	62	353	17,5	120	490	10,9	48	706
Mars	40,4	254	790	11,4	223	871	8,6	174	763
Avril	44,5	267	909	16,1	360	1152	10,1	312	1248
Mai	45,2	375	1401	36,6	366	1441	24,6	487	1454
Juin	137,9	510	1445	47,8	528	1608	82,0	528	1404
Juillet	38,8	623	1702	54,5	667	1590	82,1	552	1423
Total { mars à mai.	130,1	896	3100	64,1	949	3464	43,3	973	3465
Total { mars à juin.	268,0	1406	4545	111,9	1477	5072	125,3	1501	4819

La récolte de 1873 a été mauvaise; celle de 1874 a été très-bonne; celle de 1875 a été assez bonne ou moyenne. La première a eu beaucoup d'eau, peu de chaleur et moins encore de lumière dans les trois premiers mois de végétation active. Déjà les blés avaient souffert des fortes gelées de février. Juillet n'a rien réparé. 1875 a donné plus de chaleur que 1874; mais le blé pousse et mûrit jusque sous le 71ᵉ degré de latitude, à Lynden; ce n'est jamais la chaleur qui lui manque sous nos climats. La somme de lumière est la même en 1874 et en 1875; aussi la maturité du grain est-elle survenue à la même date dans les deux années, avec quinze jours d'avance sur une année moyenne. Les pluies de la fin de juin et de juillet et le faible éclairement relatif de ces deux mois n'ont pu retarder la maturité; les pluies ont seulement gêné la moisson.

Ce qui distingue surtout ces deux années, c'est la sécheresse qui, dans les terres légères ou peu profondes, à faibles réserves en eau, a, dans le printemps de 1875, enrayé le tallage des touffes de blé.

Les données de l'hygromètre et de l'évaporomètre complètent les déductions qui précèdent, et confirment cette conclusion que, dès la fin de mai ou les premiers jours de juin, suivant les localités, ou d'une manière générale dès la floraison du blé, on peut déduire des données météorologiques la valeur probable de la récolte pendante, sauf le cas de perturbations exceptionnelles dont l'action funeste est circonscrite.

Du mirage en mer; par M. Janssen.

D'après mes observations, qui embrassent plusieurs années déjà, le mirage en mer est très-fréquent, même dans les mers septentrionales. Dans le golfe de Siam et dans la mer Rouge, j'ai observé des cas très-remarquables de mirage *direct* et *inverse*. Les apparences observées, soit sur le Soleil levant et couchant, soit sur les objets situés à l'horizon, conduisent à admettre un plan de réflexion totale situé à une distance variable de la mer. La cause de ces effets de mirage et de réfractions anomales réside dans l'action thermique de la mer sur les couches atmosphériques voisines. Une des conséquences les plus importantes de ces études, c'est qu'elles conduisent à reconnaître que le niveau apparent de l'horizon de la mer est affecté d'une manière très-notable par ces effets optiques et qu'il y aura à en tenir compte quand on prendra (pour des mesures soignées) la hauteur d'un astre par le moyen de l'horizon de la mer. Je construis un instrument pour donner la correction.

SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 30 juillet est lu et adopté.

M. Cazin communique à la Société le résumé de ses observations magnétiques à l'île Saint-Paul.

MM. Delachanal et Mermet présentent une disposition expérimentale qu'ils ont imaginée pour rendre plus rapide et plus commode les recherches d'analyse spectrale appliquées aux corps en dissolution dans les liquides.

M. Angot décrit plusieurs appareils météorologiques à inscription continue, qu'il a vus aux États-Unis, soit à l'Observatoire météorologique établi par M. Draper au *Central Park* de New-York, soit dans les stations du *Signal Service* (service général des observations météorologiques aux États-Unis).

M. Niaudet présente à la Société un volume de brevets, publié par le Ministre du Commerce, et donne à ce sujet quelques explications sur une transformation de la machine Gramme qu'il a imaginée.

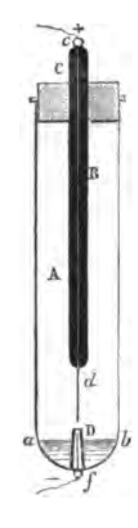
La séance est levée à 10 heures un quart.

Nouveau tube spectro-électrique; par M. B. Delachanal et M. A. Mermet.

L'appareil que nous avons l'honneur de présenter à la Société de Physique permet d'observer, pendant un temps très-prolongé, les spectres des dissolutions métalliques, même lorsqu'on ne peut disposer que de quantités extrêmement faibles de matière; on pourra donc, avec lui, déterminer facilement, et d'une façon très-précise, les positions exactes des raies spectrales, et conséquemment nommer les métaux qu'elles caractérisent.

Pour déterminer au spectroscope les bases contenues dans une dissolution, on se sert, soit d'une flamme dans laquelle on porte sur un fil de platine la substance inconnue, soit d'un tube spécial qui, avec des avantages réels, présente un certain nombre d'inconvénients qu'un premier appareil, présenté par nous à l'Académie des Sciences, faisait d'ailleurs disparaître. Ce premier tube spectro-électrique étant un peu compliqué et délicat, et n'ayant pas toujours été bien construit, nous l'avons simplifié et rendu éminemment pratique; il présente alors un certain nombre d'avantages, qui sont les suivants :

1° Fixité de l'étincelle permettant l'observation prolongée des spectres;



A tube dans lequel on verse le liquide à analyser.
B tube capillaire dans lequel est soudé le fil de platine *cd* qui constitue l'électrode supérieure.
C bouchon de liége fermant le tube A; il supporte B et lui permet de se mouvoir à frottement doux.
D petit tube capillaire un peu conique, coiffant l'électrode inférieure *f*.
d électrode supérieure.
f électrode inférieure.
ab niveau du liquide.

2° Suppression du ménisque, et conséquemment des absorptions qu'il produit en cachant en partie l'étincelle;

3° Électrodes enfermées dans un tube spécial, qui préserve l'instrument des projections corrosives;

4° Possibilité de recueillir intégralement la substance examinée;

5° Possibilité de constituer un ensemble de tubes spectroscopiques, renfermant, chacun à demeure, les solutions des divers corps et permettant les démonstrations rapides et les comparaisons; cette sorte de gamme, toujours prête à servir, est disposée sur une planchette percée de trous, contenant chacun un tube.

Le tube fermé A, de 11 centimètres de hauteur et de 1 $\frac{1}{2}$ centimètre de diamètre, est traversé par une électrode inférieure *f* en platine; dans l'orifice de A s'engage un bouchon de liége C, percé d'un trou dans lequel passe un tube capillaire B; B est traversé par un fil de platine *cd*, terminé à sa partie supérieure par un anneau, et à sa partie inférieure par une portion droite *d* qui vient en regard de *f*; *d* et *f* sont les électrodes. La partie importante de l'appareil est un petit tube capillaire, légèrement conique, d'une longueur de 1 centimètre, mobile, et qui coiffe l'électrode inférieure *f* en la dépassant de $\frac{1}{2}$ millimètre.

Pour faire fonctionner l'appareil, on verse dans le tube A la solution à examiner, en ayant soin de ne baigner l'électrode *f* et le tube D que jusqu'à mi-hauteur. Soit *ab* le niveau du liquide; la force capillaire détermine son ascension jusqu'à la pointe de D, sur laquelle se forme une goutte immobile qui s'illumine quand on envoie par *c* et *f* un courant d'induction; l'observation peut alors durer un temps très-long, sans intermittence, ce qui permet d'observer et de dessiner les spectres avec la plus grande facilité.

L'appareil est soutenu par un support spécial fixé dans une bague entourant l'extrémité du collimateur; avec ce dispositif, qui est dû à l'habile constructeur M. Duboscq, on peut placer instantanément le tube devant la fente, puis l'enlever, le comparer avec un autre contenant une substance connue, etc. M. Duboscq construit aussi des supports analogues permettant de placer des tubes de Geissler, des cuves pour l'étude des spectres d'absorption, etc.

Avec le tube spectro-électrique, nous réalisons très-rapidement des analyses qualitatives. Le spectroscope qui nous sert étant muni d'un micromètre à vis ([1]), et, d'autre part, ayant construit une courbe qui représente les rapports des longueurs d'ondes aux divisions de notre micromètre, il nous suffit de déterminer pour chaque raie la division micrométrique; alors, soit avec la courbe, soit avec une table de concordance, nous évaluons la valeur de la longueur d'onde λ; il devient ensuite facile de nommer le métal auquel cette raie appartient. Il est très-avantageux de se servir, pour ces recherches, de l'excellent livre de M. Lecoq de Boisbaudran et des remarquables planches qu'il renferme.

Analyse qualitative faite à l'aide du tube spectro-électrique. — Examen des cendres des sporules du Lycoperdon pratense (*Vesse-de-Loup*). — Ces sporules sont incinérées dans une capsule de platine; la quantité de matière obtenue est si faible qu'il serait impossible d'appliquer les méthodes ordinaires.

Les cendres sont traitées par l'acide chlorhydrique, et la *silice* séparée par une évaporation à sec.

([1]) Pour ces déterminations, nous préférons de beaucoup le micromètre à vis au micromètre à réflexion; le premier, qui est un instrument d'une haute précision, donne des résultats très-exacts, tandis que ceux fournis par le second sont insuffisants. M. Duboscq se propose d'ailleurs d'ajouter à son spectroscope à un prisme un micromètre à vis qui sera accompagné d'un oculaire spécial.

On attaque le résidu avec *un excès* d'acide chlorhydrique, et la liqueur est introduite dans le tube spectro-électrique. Le tableau suivant indique les résultats obtenus :

Divisions du micromètre	Longueurs d'ondes λ.	Métaux correspondants.
17,01	656,5	Hydrogène.
17,82	636,8	Zinc.
18,45	621,4	Calcium.
18,58	618,5	Id.
19,72	594,6	Id.
20,56	578	Cuivre.
21,07	569,2	Id.
24,29	522	Id.
24,56	519,5	Magnésium.
24,63	518	Id.
24,68	517,2	Id.
24,79	516	Cuivre.
25,21	511	Id.
28,02	481,5	Zinc.
28,98	473	Id.
29,47	468,5	Id.
36,02	422,5	Calcium.

Il y a donc dans ces cendres, outre la silice, du cuivre, du zinc, du magnésium et du calcium ; à l'aide de la flamme du gaz et du bec Debray, on y découvre aussi de la soude. L'examen des substances dans la flamme du bec Bunsen ou du bec Debray est encore ce qu'il y a de préférable pour la détermination des oxydes de potassium, de rubidium et de cœsium. La raie 656,5, qui appartient à l'hydrogène, provient de ce qu'il y a un grand excès d'acide chlorhydrique libre.

Grâce à des traitements rationnels, nous espérons arriver à la détermination de mélanges plus complexes, et aussi à pouvoir vérifier la plus ou moins grande valeur des méthodes de séparation des différents métaux.

Observations magnétiques faites à l'île Saint-Paul en novembre et décembre 1874; par M. A. CAZIN.

L'île Saint-Paul, située au milieu de la mer des Indes, par 38° 42′ de latitude australe et 75° 14′ de longitude orientale, a la forme d'un cratère circulaire de 1200 mètres de diamètre et 200 mètres d'élévation. Un affaissement du sol a ouvert le paroi est, et la mer remplit le fond du cratère. L'activité volcanique s'y manifeste encore par d'abondantes sources chaudes, et par des dégagements gazeux dont la température acquiert en certains endroits celle de la fusion de l'étain. Les roches qui composent l'île sont toutes volcaniques et ferrugineuses; elles contiennent de 6 à 14 pour 100 de fer. On trouve des scories qui sont de véritables aimants à deux pôles. Les observations magnétiques ont mis en évidence de fortes actions locales.

Déclinaison. — On a observé pendant deux mois très-régulièrement les variations diurnes à l'aide d'une boussole de Brünner disposée de la manière suivante. On visait l'extrémité de l'aimant, en faisant mouvoir la vis de rappel du microscope, de manière que le repère de l'aimant fût au point de croisement des fils du réticule; puis on visait dans la lunette astronomique une mire horizontale divisée en centimètres qui était placée au loin. La division lue sur cette mire faisait connaître l'écart de la position moyenne du barreau aimanté avec une approximation de 3 secondes.

Voici les résultats moyens de toutes les observations.

L'aimant est dans le méridien magnétique moyen vers $5^h 30^m$ du matin. A partir de ce moment, le pôle nord marche vers l'ouest jusqu'à 8 heures, et l'écart est alors de 5 minutes : puis, le pôle nord revient vers l'est, traverse le méridien magnétique à $11^h 30^m$, et continue à marcher dans le même sens jusqu'à 3 heures. L'écart est alors de $5' 20''$. Le pôle nord revient ensuite vers l'ouest jusqu'à 9 heures du soir, très-près du méridien magnétique; il s'en écarte faiblement vers l'est pendant la nuit et y revient à partir de 3 heures du matin.

Ce résultat confirme les faits déjà connus, à savoir l'existence de deux périodes semi-diurnes d'amplitudes inégales, celle du jour étant la plus grande, et l'inversion du sens des variations aux mêmes heures dans les deux hémisphères.

La déclinaison absolue a été mesurée en divers points de l'île, à l'aide d'une boussole de Gambey dans une première excursion, et de la boussole de Brünner dans une seconde excursion, ce qui a mis à l'abri des erreurs instrumentales. Les azimuts ont été déterminés soit à l'aide des signaux établis pour la construction de la carte de l'île, soit par l'observation du Soleil, et les deux méthodes ont donné des résultats suffisamment concordants.

Les déclinaisons observées en quatre stations, situées sur le bord du cratère, en allant du nord au sud par l'ouest, ont été

25°35′ (observatoire fixe), 17°36′, 15°23′, 19°49′.

Leurs différences s'expliquent par l'action locale d'un pôle *sud* (boréal) placé vers le centre du cratère.

Une observation faite à la pointe sud de l'île, auprès d'un cône de scories magnétiques, a donné 31 degrés; elle est toutefois moins sûre que les précédentes.

Inclinaison. — Aux quatre stations du bord du cratère, on a observé

68°9′, 74°34′, 69°45′, 69°11′.

Le sens des effets est expliqué par l'action locale d'un pôle *sud*, comme pour la déclinaison.

L'existence de ce pôle exclut l'idée d'un aimant vertical dû à l'action de la Terre sur les masses ferrugineuses de l'île. Il faut imaginer une couche magnétique s'étendant à partir de Saint-Paul dans la direction du nord, avec une faible inclinaison, et, comme l'île Amsterdam est dans cette direction, la seule terre qui avoisine Saint-Paul dans un rayon de 500 lieues, comme la constitution géologique des deux îles est semblable, il est possible que l'on trouve à Amsterdam les effets d'un pôle *nord* local. Comme nous n'avons pu faire aucune observation magnétique sur cette île, l'explication proposée n'est qu'une hypothèse qui peut pousser les navigateurs à des recherches sur ce sujet.

La boussole d'inclinaison a été observée vers 7 heures du matin et à 3 heures du soir assez régulièrement. On a trouvé que la moyenne du matin est supérieure de 4 minutes à celle du soir.

Intensité absolue. — Elle a été mesurée par la méthode de Gauss. On observait les déviations produites par le barreau de la boussole

de Brünner par un aimant placé sur une horizontale passant par le centre du barreau et perpendiculaire au méridien magnétique apparent. On mesurait ensuite la durée d'une oscillation de cet aimant, éloigné de la boussole. On déduit, dans deux séries d'expériences, la composante horizontale de la force du couple qui agit sur l'unité de magnétisme, et, en divisant cette composante par le cosinus de l'angle d'inclinaison, on a la force totale. La moyenne de deux observations concordantes a été 5,96 avec les unités de Gauss. Ce nombre est un peu trop fort, à cause des actions magnétiques locales.

Conclusion. — En 1818, King a assigné 22° 30′ à la déclinaison de Saint-Paul. La carte publiée par la marine française en 1870 a donné 20° 10′ avec une croissance annuelle de 1 minute. Les observations rapportées par la mission du passage de Vénus montrent que les navigateurs doivent se tenir en garde contre l'influence magnétique de cet îlot volcanique, et sans doute de beaucoup d'autres de même constitution géologique.

La déclinaison vraie, correction faite des actions locales, est voisine de 19 degrés, et l'inclinaison doit être inférieure à 68 degrés.

SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. le comte de Puyfontaine; Émile Lacoine, ingénieur à Constantinople; le Dr Alexandre Miurhead, de Londres.

M. Bouty expose la suite de ses recherches sur le magnétisme.

M. du Moncel communique à la Société les principaux résultats de ses observations sur les minéraux.

M. Duter étudie la distribution du magnétisme dans des aimants de forme quelconque.

M. Angot présente, au nom de M. Redier, constructeur, un appareil dont l'idée appartient à M. Huet et qui a pour but de déter-

miner l'amplitude et la forme du roulis. C'est un objectif muni d'une fente qui se déplace d'un mouvement horizontal et uniforme en face d'une plaque collodionnée, sur laquelle il imprime la ligne d'horizon à des hauteurs différentes suivant l'inclinaison du navire. M. Caspari rappelle, à ce sujet, qu'on emploie dans la marine plusieurs sortes d'oscillomètres, dont un, en particulier, imaginé par M. Bouquet de la Grye, donne d'excellents résultats.

Expériences sur la conductibilité des minéraux;
par M. du Moncel.

Les expériences que je me suis proposé de faire devant la Société française de Physique se rapportent à la conductibilité électrique des minéraux, et devaient avoir surtout pour but de faire ressortir certains effets particuliers qui accompagnent la transmission des courants dans ces sortes de conducteurs imparfaits. Ces effets peuvent se résumer de la manière suivante :

1. Si l'on électrise, au moyen d'électrodes de platine ou de cuivre, certaines pierres relativement conductrices, mais dont la conductibilité n'est pas entièrement métallique, telle que celle que présentent certains silex, on constate : 1° que l'intensité du courant augmente successivement à mesure que le courant passe à travers la pierre; 2° qu'après l'interruption de ce courant un courant énergique de polarisation se développe, et que, sous l'influence de cette électrisation, les électrodes métalliques et la pierre se trouvent polarisées d'une manière assez énergique pour constituer deux générateurs électriques différents, capables de développer à eux seuls des courants quand l'électrisation a duré un temps suffisant. La force relative de ces courants varie suivant les minéraux. Avec les silex et les pierres du même genre, ce sont les courants développés par les électrodes qui l'emportent, et, pour le constater, il faut réunir ces électrodes par un corps de la même nature que la pierre ayant servi à l'électrisation, ou du moins fournissant le même genre de conductibilité. Une lame métallique employée à cet effet ne donnerait lieu à aucun courant. Quant aux autres courants fournis par les corps électrisés eux-mêmes, il faut employer, pour pouvoir en apprécier

exactement l'importance, des électrodes métalliques neuves et ayant été flambées ou décapées. Avec le fer magnétique qui fournit des effets de polarisation énergiques, et qui jouit d'une conductibilité métallique assez développée, les courants de polarisation engendrés par les électrodes à la suite de l'électrisation sont tout à fait nuls quand on réunit ces électrodes par une seconde lame du même minéral non électrisée; mais ils peuvent se manifester si l'on emploie une lame de silex également non électrisée. En revanche, les courants développés par le minéral non électrisé et recueillis au moyen d'électrodes neuves sont relativement intenses. Enfin, avec les corps humides, comme des feuilles de papier collé humectées légèrement avec de l'eau distillée, mais essuyées avec soin après cette humectation, les courants produits par les feuilles de papier après leur électrisation sont peu appréciables, tandis que ceux qui résultent des électrodes ayant servi à leur électrisation sont très-énergiques. Or il résulte de ces différences d'intensité entre les courants produits par les deux générateurs ainsi constitués que, si l'on renverse la position du corps électrisé par rapport aux électrodes, on obtient des courants différentiels de sens opposé, qui, avec les silex et les feuilles de papier, sont dans le même sens que le courant primitif de polarisation, et qui, avec le fer magnétique et autres corps du même genre, sont de sens diamétralement contraire.

2. Si, après avoir électrisé un minéral conducteur pendant un certain temps (cinq minutes par exemple), on vient à l'électriser en sens contraire pendant quelques secondes (de vingt à vingt-cinq), le courant de polarisation produit se manifeste d'abord dans le sens correspondant à la dernière électrisation, et se renverse au bout de quelques instants pour accuser un courant qui est dans le sens de celui qu'aurait produit la première électrisation. Ce phénomène est d'ailleurs commun à tous les corps médiocrement conducteurs qui possèdent une conductibilité électrolytique, et le temps d'électrisation contraire nécessaire pour fournir cette inversion doit être d'autant plus long que la première électrisation a duré plus longtemps et que la conductibilité électrolytique du minéral est moins grande.

3. Si l'on électrise des minéraux de nature spongieuse, qui ne sont conducteurs que par l'humidité qu'ils absorbent et qui aban-

donnent facilement cette humidité par suite de la grande ouverture de leurs pores, l'intensité du courant décroît rapidement avec le temps, et elle ne reprend son énergie que par l'inversion de sens du courant. Or ce double effet est précisément inverse de celui qui est produit avec les silex très-conducteurs et autres pierres de la même nature. Il est vrai que, chez quelques autres silex peu conducteurs, on retrouve l'affaiblissement constaté précédemment, mais dans de beaucoup plus faibles proportions, et le plus souvent il s'arrète pour fournir ensuite une intensité fixe ou croissante. Quelquefois même, dans certains quartz, on obtient un accroissement successif d'intensité pour un sens du courant et un affaiblissement dans l'autre sens.

4. Si l'on emploie comme conducteurs du courant des minéraux ayant une conductibilité métallique très-prononcée et une résistance très-minime, le courant électrique reste à peu près stationnaire, et l'on n'obtient jamais aucun courant de polarisation. C'est ce qui a lieu avec la pyrite de fer, la galène, les sulfures de nickel, de cobalt, de bismuth, la mine de plomb, le pyrolusite, etc. Toutefois, si ces minerais présentent une certaine résistance, comme le fer magnétique, le fer oligiste spéculaire, la blende de zinc, le wolfram, le mispickel, le silicate de cuivre, ils présentent le plus souvent les effets de polarisation dont il a été question précédemment, sans doute parce qu'ils sont associés à certains silicates ou quartz qui sont dans le cas des silex. Enfin, quand ces minéraux sont simplement métalliques et qu'ils ont une grande résistance, comme le cinabre, la stibine, etc., aucun effet de polarisation n'est encore produit.

5. La chaleur agit d'une manière très-différente sur les divers minéraux; dans les silex et les pierres poreuses, elle en diminue considérablement la conductibilité; mais elle l'augmente pour les minerais métalliques résistants. Elle la diminue au contraire, mais très-faiblement, dans les minerais métalliques très-conducteurs. Du reste, tous ces minerais métalliques sont susceptibles de fournir, sous l'influence de la chaleur, des courants thermo-électriques plus ou moins intenses, et les autres pierres les fourniraient également, si la chaleur ne faisait disparaître pour la plupart leur pouvoir conducteur.

6. L'humidité de l'air réagit énergiquement sur tous les miné-

raux, mais surtout sur les pierres spongieuses et les silex. Chez les minerais métalliques, elle réagit probablement aussi, mais leur conductibilité est généralement si grande qu'il est difficile d'en constater l'influence. J'ai pu faire avec des prismes de pierre calcaire et des lames de silex de très-bons hygrothermomètres, qui indiquaient toutes les variations de température et d'humidité de l'air ambiant, et avec des écarts dans les indications bien supérieurs à ceux de l'hygromètre à cheveu.

7. Les minéraux fondus ou cristallisés, même ceux qui ont été cristallisés par la voie humide, tels que le sulfate de cuivre, le bichromate de potasse, le sulfate de fer, le sel gemme, sont tous plus ou moins isolants quand leur surface est parfaitement sèche.

Je n'entrerai pas aujourd'hui dans d'autres détails sur les effets qui ont été, de ma part, l'objet de nombreuses Notes présentées à l'Académie des Sciences dans le second semestre de 1875 et que l'on pourra trouver dans les *Comptes rendus*.

Sur la distribution du magnétisme dans les plaques d'acier circulaires et elliptiques; par M. E. Duter.

Les expériences qui suivent ont pour objet de reconnaître l'influence de la forme sur la distribution du magnétisme libre dans les aimants d'acier. J'ai effectué mes recherches sur des plaques de forme circulaire ou elliptique; toutes sont taillées dans le même acier et possèdent la même trempe; leur épaisseur est de 1 millimètre.

Les plus grands rayons des cercles que j'ai employés ont 15 centimètres, et les plus grands axes des ellipses ont aussi 15 centimètres.

L'aimantation a été obtenue au moyen d'une bobine très-plate, formée par 400 mètres de fil de cuivre de 2 millimètres de diamètre et où passe le courant de 10 bons éléments de Bunsen.

J'ai employé dans mes recherches la méthode de M. Jamin: c'est la seule qui permette d'étudier tel point que l'on veut d'un aimant, en mesurant en chaque point la force d'arrachement d'un très-petit contact de fer doux. Pour assurer le succès complet de la mé-

thode, dans le cas où je me suis placé, il est indispensable d'employer deux précautions.

Il faut d'abord donner à l'aimant une surface parfaitement polie et nette; la moindre trace de souillure qui ternit l'aimant affecte de la façon la plus irrégulière la force qui détermine l'arrachement. Il faut, en outre, éviter tout choc de l'aimant, même celui du petit clou d'arrachement qui, retombant brusquement sur un point de l'aimant, altère d'une façon permanente la tension existant en ce point.

Les résultats que j'ai obtenus se résument ainsi :

1° Les totalités de magnétisme libre répandu sur des cercles ou des ellipses sont proportionnelles aux surfaces.

2° Ce magnétisme peut être considéré comme distribué suivant des filets qui affectent la forme d'hyperboles; les axes non transverses de ces hyperboles sont en direction et en grandeur les axes de symétrie perpendiculaires à la ligne neutre. Les axes transverses sont dirigés suivant la ligne neutre, mais leurs grandeurs varient d'un filet à un autre.

Sur chacun de ces filets, la loi de distribution du magnétisme libre est donnée par la formule

$$(1) \qquad I = A(a^h - a^{-h});$$

I est la tension magnétique au point considéré, h est la longueur de l'arc d'hyperbole définie ainsi que je l'ai dit plus haut, et où se trouve le point considéré; cette longueur est comptée à partir de la ceinture moyenne. A et a varient d'un filet à un autre, suivant les deux lois suivantes.

3° Les tensions I_1, à l'extrémité de chaque filet hyperbolique, sont données par la formule

$$(2) \qquad I_1 = \frac{2L}{\pi} \text{ arc tang } \frac{h_1}{k} \quad \text{ou} \quad A(a^{h_1} - a^{-h_1}) = \frac{2L}{\pi} \text{ arc tang } \frac{h_1}{k};$$

h_1 est la longueur de l'hyperbole comptée de la ceinture moyenne à son extrémité, L est la tension à l'extrémité d'un filet de longueur infinie, k est un autre coefficient qui, dans les cercles, ne dépend absolument que de la nature de l'acier. Dans les ellipses, il reste aussi un nombre constant, pourvu que les dimensions transversales de l'aimant ne soient pas trop faibles par rapport aux dimensions axiales.

4° Les totalités de magnétisme répandu sur chaque filet hyperbolique sont proportionnelles aux carrés des tensions I_1 existant à l'extrémité de chacun de ces filets, ce qui conduit à la formule

$$(3) \qquad \frac{A}{La}(a^{k_1} + a^{-k_1} - 2) = C \times A^2(a^{k_1} - a^{-k_1}),$$

C étant une constante qui ne dépend que de la nature de l'acier. J'ai entrepris des recherches sur des aimants de formes très-diverses, et j'ai vu que la forme des filets, où la loi $I = A(a^k - a^{-k})$ se maintient, change avec la courbe limitatrice des aimants.

C'est précisément dans la recherche de ces lignes, que je nomme lignes *homomagnétiques* et qui, dans le cas des cercles et des ellipses, sont des hyperboles, que se trouve l'explication de ces phénomènes encore peu étudiés de distribution, et nommés *influence des bords ou des angles.*

En suivant les bienveillants conseils de M. Jamin, j'ai, profitant des lois expérimentales que j'avais trouvées, recherché les lignes d'égales tensions sur les cercles aimantés.

Les résultats auxquels conduit cette recherche sont très-simples et très-importants, puisqu'ils donnent la loi élémentaire de la distribution du magnétisme sur des cercles.

En effet, si, au moyen de mes lois expérimentales, on calcule les courbes d'égales tensions sur les cercles, on trouve que ces lignes *isomagnétiques* sont des *ellipses homofocales,* ayant pour foyers les extrémités du diamètre qui représente la ligne neutre de l'aimant, c'est-à-dire que l'équation générale de ces ellipses isomagnétiques est

$$(4) \qquad \frac{x^2}{r^2 + b^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1;$$

r est le rayon du cercle aimanté, *b* est le petit axe de l'ellipse isomagnétique qui est dirigé suivant l'axe magnétique de l'aimant.

Or j'ai prouvé que la distribution du magnétisme libre suivant l'axe de l'aimant était donnée par la formule

$$I = A(a^b - a^{-b}),$$

où *b* représente la distance du point étudié au centre de l'aimant,

ou bien encore la moitié de l'axe de l'ellipse isomagnétique passant par le point considéré; et, comme de l'équation (4) on tire

$$b = \left\{ \frac{x^2+y^2-r^2}{2} + \sqrt{\frac{[r^2-(x^2+y^2)]^2+4r^2y^2}{4}} \right\}^{\frac{1}{2}},$$

il en résulte que l'intensité du magnétisme libre, répandu sur un élément infiniment petit $dx\,dy$ de la surface de la plaque, est donnée par l'expression

$$A \left\{ a^{\left[\frac{x^2+y^2-r^2}{2}+\sqrt{\frac{(r^2-x^2-y^2)^2+4r^2y^2}{4}}\right]^{\frac{1}{2}}} - a^{-\left[\frac{x^2+y^2-r^2}{2}+\sqrt{\frac{(r^2-x^2-y^2)^2+4r^2y^2}{4}}\right]^{\frac{1}{2}}} \right\} dx\,dy.$$

SÉANCE DU 17 DÉCEMBRE 1875.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société : MM. Duter, professeur au Lycée de Reims; Nicolas Egoroff (de Saint-Pétersbourg); Hanriot, professeur de Physique honoraire de la Faculté de Lille; Félix Le Blanc, professeur à l'École Centrale; Mallezet, architecte; Albert Moitessier, professeur à l'École de Médecine de Montpellier.

M. Bouty présente, au nom de M. Lutz, un appareil à plaques épaisses de M. Jamin, et ajoute quelques explications sur la construction de cet instrument.

M. Mascart présente des photographies de stratifications dans les tubes raréfiés obtenus par M. Warren de la Rue, au moyen de piles composées d'un très-grand nombre d'éléments. M. Cornu donne sur la disposition des expériences quelques détails dont il résulte que, malgré l'emploi direct de la pile, le phénomène est discontinu comme dans les cas de décharges d'induction.

M. Jamin communique à la Société les formules qu'il a établies pour représenter la distribution du magnétisme dans les aimants munis d'armatures au contact. Si l'armature est indéfinie, l'intensité magnétique dans le fer doux est représentée par une exponentielle à un seul terme, comme pour les aimants de très-grande longueur; si l'armature est plus courte, l'intensité est donnée par la somme de

deux exponentielles. La diminution d'intensité sur chaque point de l'aimant suit la même loi, et l'on détermine les constantes des formules en remarquant : d'une part, que la perte totale de magnétisme éprouvée par l'aimant est égale au gain de l'armature, et, d'autre part, que l'intensité est la même au point de contact sur l'armature et sur l'aimant.

Sur quelques expériences de réfraction conique; par M. Nodot.

(Séance du 2 avril 1875.)

Jusqu'ici ce sont surtout les cristaux d'arragonite qui ont servi à manifester les phénomènes de la réfraction conique. La rareté de cristaux un peu épais de cette substance a poussé plusieurs physiciens à améliorer le système optique par lequel on agrandit l'angle du cône extérieur propre à ce genre de phénomènes; mais une voie restait ouverte, à savoir la recherche de cristaux naturels ou artificiels capables de rivaliser, par l'énergie spécifique, l'épaisseur et la limpidité, avec l'arragonite. A en juger par les valeurs des trois indices propres à de nombreux cristaux biaxes, l'arragonite serait le minéral le plus favorable; mais les espèces chimiques sont si nombreuses qu'on devait espérer y rencontrer des cristaux qui lui fussent supérieurs sous ce rapport.

C'est ce qui m'est arrivé. Je remplace avantageusement, dans les appareils de la réfraction conique, l'arragonite par une des trois substances suivantes, dont on trouve aisément dans le commerce des cristaux épais et limpides : le sucre, le bichromate de potasse et l'acide tartrique. La taille des deux premiers ne réclame aucun tâtonnement, car une face naturelle pour le sucre et une face de clivage pour le bichromate se trouvent être normales à l'un des axes optiques. Pour l'acide tartrique, il n'en est pas de même, et il faut chercher par tâtonnement la direction des faces à travers lesquelles on verra l'un des axes. On y arrive assez vite en se guidant par l'emploi du microscope d'Amici, et l'on est récompensé de sa peine par l'énergie des cristaux, qui, à épaisseur égale, donnent, dans le même appareil, un cône deux fois plus ouvert qu'avec l'arragonite.

ALLOCUTION DE M. JAMIN.

(Séance du 7 janvier 1876.)

En quittant ce fauteuil, où m'avait appelé votre amitié, je viens, suivant l'usage, vous remercier de l'honneur que vous m'avez fait, et jeter un coup d'œil sur l'état de notre Société.

Fondée depuis trois ans à peine, elle tient déjà l'un des premiers rangs parmi les assemblées scientifiques, soit par le nombre de ses adhérents, soit par l'illustration de ses membres. Parmi nos honoraires, nos modèles et nos maîtres, nous comptons l'illustre et cher doyen des physiciens français; le directeur du collége Romain, qui nous a tant appris sur la constitution du Soleil; l'émule et le continuateur de Dulong, qui viendra oublier au milieu de vous ses malheurs de famille et les malheurs de sa santé; M. Billet, qui a occupé sa vie à composer dans l'isolement, comme un bénédictin, le plus original des traités d'Optique; le hardi physicien qui s'est illustré en forçant l'électricité à traverser, selon le rhythme voulu, l'étendue de l'Océan. A côté de nos maîtres, nous avons nos élèves, presque nos enfants, venus de l'École Polytechnique ou de l'École Normale, pour recevoir au milieu de nous des leçons de travail et se préparer à nous succéder.

Aux professeurs, aux hommes de science pure, nous voyons mêlés nos plus habiles artistes, les Bréguet, les Ruhmkorff, les Duboscq, les Brünner et tant d'autres, comme pour montrer que l'expérience et la pratique sont honorées ici à l'égal de la théorie.

La concorde n'a cessé de régner parmi nous, et nous avons heureusement et laborieusement vécu entre l'étude et l'amitié. Nos finances sont modestes, mais en bon ordre; nous avons un bon commencement de bibliothèque à l'usage des membres éloignés de Paris, et nous aurons bientôt des instruments de précision qui voyageront comme nos livres. Dieu a voulu enfin que cette année n'ait enlevé du milieu de nous qu'un petit nombre de membres. Tout a donc marché à souhait, et je puis me réjouir avec vous de nos

succès et de nos espérances en quittant la présidence dont vous m'avez honoré.

Je n'aurais pas rempli tous mes devoirs et vous n'auriez pas rempli le vôtre, si je n'ajoutais que ces succès nous les devons en grande partie au zèle de notre cher Secrétaire général. C'est à lui que la Société doit ses commencements, c'est lui qui prend le souci de son existence quotidienne, c'est par lui qu'elle étend tous les jours le cercle de son influence et sa bienfaisante action. Chaque année il demeure notre Secrétaire général par le consentement unanime et répété de tous. Il a conquis et il garde notre amitié par son dévouement et par tout ce qui constitue le caractère élevé d'un homme de bien. La Société tout entière voudra, comme moi, offrir à M. d'Almeida tous ses remercîments pour l'année qui finit, toute sa confiance pour celle qui commence.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ.

Annales télégraphiques.

Annuaire météorologique et agricole de l'observatoire de Montsouris. (Années 1873-1874-1875-1876.)

Bulletin mensuel de l'observatoire de Montsouris, publié par M. *H. Marié-Davy*. (T. III et IV, 1874-1875.)

Proceedings of the royal Society. (Vol. XXIII, n°s 156 à 159.)

Bulletin de la Société des ingénieurs civils (année 1875).

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des ingénieurs civils (1875).

Comptes rendus des séances et Mémoires de la Société de Biologie. (Années 1869-1870-1871-1872.)

Les spectres de la chlorophylle et leurs applications à la Chimie, à la Physiologie, à la Toxicologie; par *J. Chautard*. (Nancy, 1875.)

Congrès international des sciences géographiques. (2e édition. Paris, 1875.)

Comité météorologique de l'ouest-méditerranéen. (*Bulletin du département de l'Hérault*, 1874.)

Du mouvement ascendant spontané des liquides dans les tubes capillaires; par M. *C. Decharme*. 1er Mémoire. (Angers, 1873.)

Du mouvement ascendant des liquides dans les corps poreux; par M. *C. Decharme*. 2e Mémoire. (Angers, 1874.)

Rapport de M. *Félix Le Blanc* sur la construction des appareils photométriques de MM. *Dumas* et *Regnault*, et en particulier sur une balance à marteau de M. *Deleuil*. (Paris, 1865.)

Mémoire sur la transformation et l'équivalence des forces chimiques; par M. *P.-A. Favre*. (Imp. nat., 1875.)

Nuove esperienze sugli specchi magici dei Cinesi; par M. *Gilberto Govi*. (Torino, 1867.)

Di un nuovo termometro a gaz a massima e minima, e registratore; Nota di *G. Govi*. (Torino, 1869.)

Intorno agli specchi magici dei Cinesi; ricerche di *G. Govi*. (Torino, 1870.)

Intorno a un congegno per dimostrare varii fenomeni di Meccanica molecolare; Nota di *G. Govi*. (Torino, 1870.)

Sur l'état électrique dans l'intérieur des bons et des mauvais conducteurs électrisés; par M. *G. Govi*. (Turin, 1871.)

Correzione dei coefficienti nella formola per calcolare le dilatazioni assolute del mercurio; Nota di *G. Govi*. (Torino, 1871.)

Sur l'invention de quelques étalons naturels de mesure; par *G. Govi*. (Turin, 1871.)

Una lettra inedita del principe Leopoldo de Medici, fondatore dell'Accademia del Cimento, al padre *G.-B. Riccioli*, con breve illustrazione di *G. Govi*. (Torino, 1873.)

Di alcune nuove camere-lucide; Nota di *G. Govi*. (Torino, 1873.)

Sui rapporti della pioggia con le piene dei fiumi, e di un nuovo instrumento per istudiarli di Felice Matteucci (Firenze, 1873); Nota di *G. Govi*.

Delle magneti permanenti e dei vari metodi per ottenerle; par M. *Costanzo Glisenti*. (Brescia, 1874.)

Studi sperimentali sul magnetismo temporario e sul permanente; par M. *Costanzo Glisenti*. (Brescia, 1875.)

De la propagation de la chaleur dans les corps, de ses relations avec : 1° la structure des minéraux, 2° le métamorphisme des roches; par M. *Ed. Jannettaz*. (Extrait du *Bulletin de la Société géologique de France*, 1875.)

Notice sur *E. Flachat*; par M. *L. Malo*. (Paris, 1875.)

Recherches expérimentales sur l'élasticité du gaz; par M. *D. Mendéléeff*. (Saint-Pétersbourg, 1872.)

Sur la vessie natatoire au point de vue de la station et de la locomotion; par M. *A. Moreau*.

Étude sur l'entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur; par M. *F. de Romilly*. (Extrait des *Comptes rendus*, avril 1875.)

Œuvres de Verdet. (6 volumes.)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris. (Instruments de précision, appareils de Physique et de Chimie, année 1875.) Impr. nationale.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

(1876.)

BUREAU.

MM. QUET, *Président.*
BECQUEREL (Edmond), *Vice-Président.*
D'ALMEIDA, *Secrétaire général.*
GERNEZ, *Secrétaire.*
CAZIN, *Vice-Secrétaire.*
NIAUDET, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Résidants :		*Non-résidants :*	
MM. BRÉGUET	1874.	MM. ABRIA (Bordeaux),	1874.
JAMIN.		BILLET (Dijon).	
MASCART.		MELSENS (Bruxelles).	
POTIER.		ROSENSTIEHL (Mulhouse).	
BLAVIER	1875.	MEUNIER-DOLLFUS (Mulhouse),	1875.
BOURGET.		RAULX (Auch).	
CORNU.		STRUMBO (Athènes).	
DUBOSCQ.		TERNANT (Marseille).	
BERTHELOT	1876.	ANDREWS (Belfast),	1876.
BERTIN.		DUCLAUX (Lyon).	
FIZEAU.		GOVI (Turin).	
DU MONCEL.		GRIPON (Rennes).	

MEMBRES HONORAIRES.

MM. BECQUEREL, Membre de l'Institut.
BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
V. REGNAULT, Membre de l'Institut.
LE P. A. SECCHI, Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
SIR WILLIAM THOMSON, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.

MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).
ALGLAVE, Directeur de la *Revue Scientifique*, 36, rue Gay-Lussac.
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALMEIDA (d'), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 145, boulevard Saint-Michel.
ANDREWS, Queen's College, Belfast (Irlande).
ANGOT, Docteur ès sciences, 24, rue Gay-Lussac.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
AUBOUY, Professeur au Collége de Pézénas.
ARLINCOURT (D'), Ingénieur électricien, 102, rue Neuve-des-Mathurins.
AUBRY, Professeur au Collége de Chalon-sur-Saône.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.
BALARD, Membre de l'Institut, 100, rue d'Assas.
BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 44, rue Madame.
BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.
BEAUME, Professeur au Lycée de Bourg.
BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.
BECQUEREL, Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Henri), Élève des Ponts et Chaussées, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BENEVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 34, rue Madame.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.
BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.
BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.
BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.
BICHAT, Professeur au Lycée de Versailles, 65, rue de Montreuil.
BILLET, Professeur à la Faculté de Dijon.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, 10, rue de la Sorbonne.
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'administration générale des lignes télégraphiques.

MM.

BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, ancien Professeur de Physique, 53, rue du Bac.
BOUDRÉAUX, Préparateur de Physique au Lycée Henri IV, 8, rue des Écoles.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURGET, Directeur des Études à Sainte-Barbe, rue de Reims.
BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue de l'Odéon.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, attaché au Laboratoire des Hautes Études, 37, rue d'Enfer.
BRANLY, Professeur à l'Université Catholique, 49, rue Gay-Lussac.
BRÉGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BRÉGUET (Ant.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 39, quai de l'Horloge.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 27, boulevard Saint-Michel.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABANELLAS (G.), Lieutenant de Vaisseau, à Cherbourg.
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CAILLETET, Manufacturier, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Saint-Louis, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVALLIÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CAZIN, Professeur au Lycée Fontanes, 54, rue d'Enfer.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.
CHARLON, Directeur de *la Confiance*, 21, rue de Grammont.
CHAUTARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.
CIVIALE (A.), 2, rue de la Tour-des-Dames.
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 10, boulevard Saint-Michel.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, Directeur de la Manufacture des tabacs, 63, quai d'Orsay.
CROIX, Professeur au Collége, 18, Grande Rue, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Laval.
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DEDÉT, Professeur au Lycée d'Albi.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée de Montauban.

MM.

DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard Saint-Michel.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Lodève.
DOULIOT, Principal du Collége de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Professeur au Collége de Béziers.
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue des Ursulines.
DUPAIGNE, Professeur au Collége Stanislas, 172, boulevard Montparnasse.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.
DUTER, Professeur au Lycée de Reims.

EGOROFF (Nicolas), (de Saint-Pétersbourg), 29, avenue de Wagram.
ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville, 41, rue des Teinturiers.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FERNET, Répétiteur à l'École Polytechnique, 93, rue des Feuillantines.
FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.
FONTAINE (Hippolyte), 52, rue Saint-Georges.
FOURNIER (Félix), 2, rue de Châteaudun.
FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.
FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.
GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.
GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.
GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.
GARRAN DE BALZAN, Docteur en Médecine, 58, boulevard Saint-Germain.
GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-Saint-Germain.
GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.
GAYON, Préparateur-Agrégé à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.
GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.
GIRARD (Ch.), Manufacturier à Ris-Orangis (Seine-et-Oise).
GIRARD (M.), Professeur au Collége Rollin, 9, rue Thenard.
GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.
GIROUD (D.), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels
GOLAZ, Constructeur d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.
GOSSIN, Proviseur du Lycée de Toulon.
GOVI, Professeur à l'Université de Turin.

MM.

GRAY (Matthew), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (Robert Kay), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRÉHANT, Chef de laboratoire au Muséum, 17, rue Berthollet.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Nîmes, 24, rue Dorée.

GROSSETESTE (William), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.

GUELPA, Principal du Collége de Sétif.

GUILLEBON (de), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 8, cloître Saint-Étienne, Orléans.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

HURION, Préparateur de Physique au Collége de France, 11, rue des Écoles.

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.

JANDEAU, Professeur au Collége de Tourcoing.

JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.

— **JANSSEN**, Membre de l'Institut, 33, rue Labat.

JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 50, rue Gay-Lussac.

JUNGFLEISCH, Conservateur des collections, à l'École Polytechnique.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 30, rue Hautefeuille.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LACOINE (Émile), Ingénieur Civil, à Constantinople (Turquie).

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.

LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.

LAPORTE, Lieutenant au 5e bataillon de chasseurs à pied, à Dijon.

LATTES (Oreste), Ingénieur à Turin, 51, rue Vivienne.

LAURENT, Constructeur d'Instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Censeur du Lycée de Douai.

LE BLANC (Félix), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).

LECARME, Professeur au Collége Chaptal, 87, rue Saint-Pétersbourg.

LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 83, boulevard Saint-Michel.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (François), à Cognac.

LEMOINE (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.

MM.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 19, rue du Sommerard.
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 38, quai Henri IV.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte.
LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LIPPMANN, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, 59, rue des Feuillantines.
LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Rochefort.
LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Besançon.

MALLEZET, Architecte, 87, rue de Monceau.
MANGIN, Commandant du Génie, 13, avenue Lowendal.
MARC, Maître répétiteur au Lycée de Bordeaux.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 7, rue Malebranche.
MASSE, Professeur au Collége d'Épernay.
MASSON (**G.**), 17, place de l'École-de-Médecine.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 27, rue Caumartin.
MEUNIER-DOLLFUS, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, à Mulhouse.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1 boulevard Saint-Denis.
MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (**Comte du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MOROT, Professeur à Sainte-Barbe, 28, rue Tournefort.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Agrégé-Préparateur à l'École Normale, 45, rue d'Ulm.
MUIRHEAD (**D[r] Alexandre** F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.
MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER, 11, boulevard du Temple.

PASSOT (**D[r]**), Aide-Major au 103[e] de ligne, à Rueil.
PELLAT (**H.**), Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 21, rue Monge.

MM.

PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
PITANGA (Epiphanio), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro.
PLANTÉ (Gaston), 56, rue des Tournelles.
PLATZER (H.), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.
PLOIX (Charles), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.
POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.
PROTCHE (le Colonel), Commandant en second de l'École Polytechnique.
PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.
PUYFONTAINE (Comte de), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 37, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
RAMEAUX, Professeur à la Faculté de Nancy.
RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.
RAYET, Professeur à la Faculté de Marseille.
RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 5, place Sorbonne.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
REGNAULT (V.), Membre de l'Institut, rue de la Fontaine, Passy.
ROLLAND, à l'île de la Réunion.
ROMILLY (de), 8, rue de Madrid.
ROMMIER, 6, place Saint-Sulpice.
ROSENSTIEHL, Chimiste, 8, Chaussée Dornach, à Mulhouse.
RUHMKORFF, Constructeur, 13, rue Champollion.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut, 7, rue Taranne.
SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.
SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boulevard Saint-Germain.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.
SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Physique, 1, rue du Siphon, Mulhouse.
SCHŒFFER, Professeur au Collége de Béziers.
SECCHI (le P. A.), Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SIMONSTRE (l'Abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.
SIRVENT, Professeur au Collége Rollin, 116, rue de Rennes.
SOBAUX (l'Abbé), Professeur au Petit Séminaire de Paris, 19, rue Notre-Dame-des-Champs.
SPOTTISWOODE (W.), Vice-Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Toulon, 37, rue Picot.
TERNANT, Représentant de la Cie de l'Eastern Telegraph, 8, rue Pavé-d'Amour, Marseille.

MM.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (Arnould), 6, place Saint-Sulpice.

THOMSON (Sir William), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille.

TRIPIER (le Dr), 6, rue Louis-le-Grand.

TURIÈRE, Professeur au Collége de Béziers.

VAN MALDEREN (J.), Constructeur d'appareils électro-magnétiques, 67, avenue de Wagram.

VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.

VERMEILLE, Professeur au Collége de Cambrai.

VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.

VILLIERS (Antoine), 8, rue du Havre.

VIMERCATI (G.), Directeur de la *Rivista scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).

VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.

WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.

WEST, Intendant militaire en retraite, 13, rue Bonaparte.

WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 95, rue des Feuillantines.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

ZEGERS (Louis-L.), Ingénieur des Mines du Chili, 39, rue des Écoles.

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

2724 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1876.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1876.

PARIS,
AU SIÉGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES.

1876

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

STATUTS (¹).

Article Ier.

La Société française de Physique se propose de contribuer à l'avancement de la Physique par l'union des personnes qui aident aux progrès de cette science ou qui s'y intéressent.

Elle tient deux fois par mois des séances consacrées à l'exposé et à la discussion des travaux de Physique.

Elle met sous les yeux de ses membres les expériences les plus intéressantes et les plus nouvelles.

Elle publie un Bulletin qui est distribué gratuitement à tous ses membres.

Elle s'interdit toute discussion étrangère à la Physique.

Art. II.

La Société se compose de membres honoraires, de membres résidants et de membres non résidants.

Pour être élu membre de la Société, il faut être présenté par deux membres qui adressent une demande par écrit au président.

(¹) Les Statuts sont reproduits, à cause des additions qui y ont été introduites cette année (dernier paragraphe de l'Art. III, dernier paragraphe de l'Art. IV, et Art. XI).

L'élection est mise à l'ordre du jour de la séance suivante, sauf opposition du Conseil. La nomination a lieu à la majorité des voix des membres présents.

Art. III.

Le titre de membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Étranger. Les membres honoraires ont voix délibérative dans les séances, et une place d'honneur leur est réservée. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Le nombre en est fixé à six pour la première année, et il ne pourra ultérieurement en être nommé plus de deux chaque année.

Il sera de dix au plus.

Art. IV.

Les membres résidants payent un droit d'entrée de 10 francs et une cotisation annuelle de 20 francs.

Les membres non résidants ne payent pas de droit d'entrée, et leur cotisation est fixée à 10 francs.

Les membres résidants ou non résidants seront libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées, et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société.

Art. V.

Dans l'intérêt des membres non résidants, la Société, aux époques où un grand nombre de ces membres sont réunis à Paris, consa-

crera une ou plusieurs séances à répéter les principales expériences faites dans le courant de l'année.

Art. VI.

La Société est administrée par un bureau composé de : un président, un vice-président, un secrétaire général, un secrétaire, un vice-secrétaire et un archiviste-trésorier, et par un conseil composé de douze membres résidants et de douze membres non résidants. Le président du bureau préside la Société et le Conseil.

Art. VII.

Le bureau ne comprend que des membres résidants, et est nommé à la majorité absolue des voix des membres présents à la séance d'élection.

Le secrétaire général est spécialement chargé de régler, avec l'aide du secrétaire et du vice-secrétaire, l'organisation scientifique des séances. Il est nommé pour deux ans, ainsi que le trésorier : ils sont tous deux rééligibles.

Le vice-président et le vice-secrétaire d'une année deviennent président et secrétaire l'année suivante. Le président et le secrétaire sortant ne sont pas immédiatement rééligibles dans le bureau.

Art. VIII.

Le Conseil est nommé à l'élection par tous les membres de la Société, et renouvelé par tiers chaque année. Les membres sortant ne sont pas immédiatement rééligibles.

L'élection du Conseil, pour éviter double emploi, a lieu dans une séance postérieure à l'élection du bureau.

Art. IX.

Les comptes des recettes et dépenses sont présentés chaque année au Conseil par le trésorier, puis communiqués à la Société.

La Société, avant d'en voter l'approbation, désigne par scrutin trois membres étrangers au Conseil, qui en font l'examen et présentent leur Rapport dans la séance suivante.

Art. X.

La Société reçoit les dons qui sont de nature à faciliter ses travaux, et inscrit dans son Bulletin les noms des donateurs.

Art. XI.

Les statuts ne pourront être modifiés qu'après deux délibérations du Conseil. Les modifications proposées devront être annoncées un mois d'avance à la Société et seront mises aux voix à la séance générale de Pâques.

SÉANCE DU 7 JANVIER 1876.

PRÉSIDENCE DE MM. JAMIN ET QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 17 décembre 1875 est lu et adopté.

Au début de la séance on procède à l'élection du bureau, à la nomination des membres honoraires.

Le trésorier communique l'état financier de la Société et conclut en engageant les membres à recruter des adhérents. La Commission des comptes est nommée.

Après un discours prononcé par M. Jamin, M. Quet le remplace comme président.

Le bureau de l'année 1876 se trouve ainsi composé :

M. Quet, *Président;*
M. Becquerel (Edmond), *Vice-Président;*
M. d'Almeida, *Secrétaire général;*
M. Gernez, *Secrétaire;*
M. Cazin, *Vice-Secrétaire;*
M. Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

Ont été nommés, à l'unanimité, membres honoraires :

MM. Billet, R. P. Secchi, V. Regnault et W. Thomson.

Commission pour le contrôle des comptes de l'année 1875 :

MM. Deleuil,
Fernet,
Lechat.

Sont élus membres de la Société : MM. Warren de la Rue, de Londres; Louis Zegers, ingénieur des Mines du Chili.

La Société vote un article additionnel aux statuts:

Tous les membres de la Société résidants ou non résidants seront libérés de toute cotisation moyennant un versement de 200 francs. Les sommes versées sont placées et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société.

M. Duboscq présente à la Société un galvanomètre construit de manière à s'adapter à son appareil pour la projection des phénomènes qui se passent dans un plan horizontal.

M. Mouton communique ses recherches sur le courant induit. Il met en relation les deux extrémités du fil induit avec les quadrants d'un électromètre de Thomson et mesure, par la déviation de l'aiguille, la différence de potentiel électrique entre ces deux extrémités à des intervalles de temps croissant depuis l'instant de la rupture du courant. En prenant pour origine cet instant, pour abscisses les temps et pour ordonnées les déviations de l'aiguille, il trouve que, si les observations sont faites à des époques suffisamment rapprochées, les points déterminés sont sur une courbe continue et sinueuse; les sinuosités, qui interceptent d'abord sur l'axe des abscisses des longueurs décroissantes, le rencontrent ensuite à des distances sensiblement égales entre elles. L'interrupteur employé n'est autre que celui de Masson et Bréguet légèrement modifié, mis en mouvement par une machine de Gramme animée par 3 ou 4 éléments de Bunsen avec un régulateur particulier à force centrifuge.

La séance est levée à 10 heures.

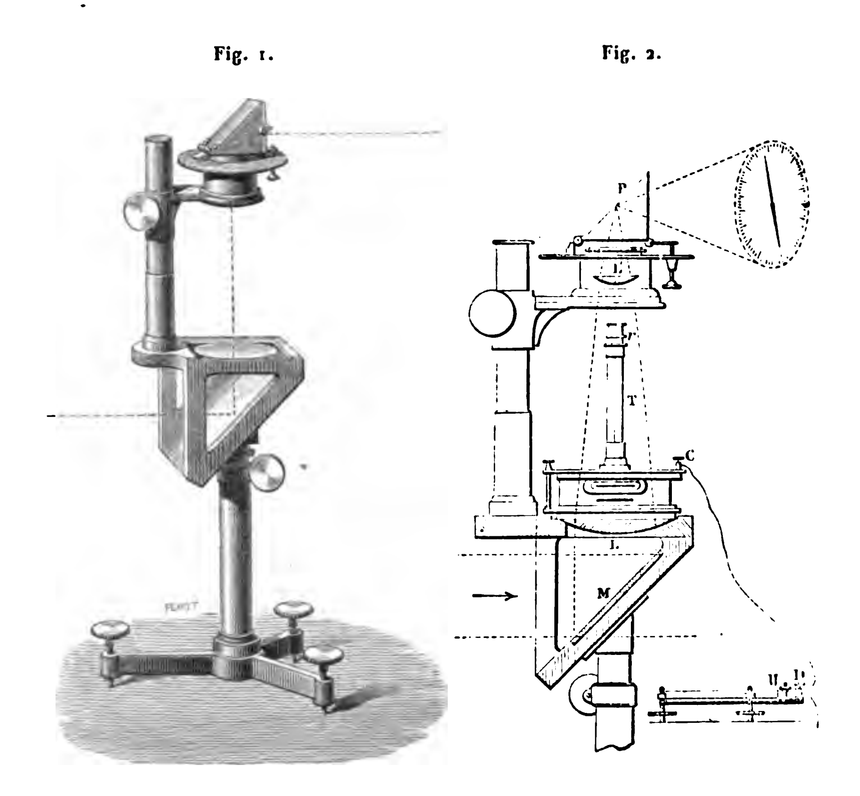
Appareils pour la projection des corps placés horizontalement; par M. J. Duboscq.

Cet appareil, dont le premier modèle a été construit en 1866, et dont la disposition première est décrite tome I, p. 372 du *Journal de Physique*, sert à projeter tous les corps solides ou liquides qui ne peuvent affecter que la position horizontale et dont on veut montrer les formes extérieures.

A cet effet les rayons parallèles ou divergents de la source lumi-

neuse tombent sur un miroir M placé à 45 degrés (*fig.* 1 et 2) sur lequel ils se réfléchissent, traversent une lentille L ou condenseur qui les concentre sur un prisme à réflexion totale P qui les renvoie sur l'écran. Un objectif achromatique L′ projette agrandie l'image de l'objet placé sur le condenseur.

Fig. 1. Fig. 2.



Comme exemple d'expériences que l'on peut montrer en projection à l'aide de cet appareil, nous citerons entre autres :

Phénomènes de magnétisme. — Pôles et ligne neutre d'un aimant, fantômes magnétiques, points conséquents, différence d'action des deux pôles, attraction ou répulsion; magnétisme terrestre, déclinaison de l'aiguille aimantée, théorie de la boussole.

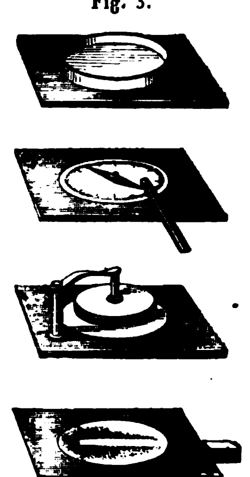
Phénomènes d'électricité. — Influence d'un courant sur une aiguille aimantée, expérience d'OErsted, théorie du galvanomètre, action des courants sur les courants, expérience d'Ampère.

Phénomènes électromagnétiques. — Aimantation du fer doux, théorie des télégraphes, etc., etc.

Phénomènes électro-chimiques. — Décomposition de l'eau et des sels par le courant, dépôt de métaux, théorie de la galvanoplastie; combinaisons et réactions chimiques.

Phénomènes optiques. — Démonstration des impressions sur la rétine, mélange des couleurs, effets de contraste, couleurs accidentelles, etc., expériences décrites par Helmholtz et Plateau, recomposition de la lumière, disque de Newton.

Fig. 3.



Les divers appareils nécessaires à la réalisation de ces expériences se placent tous sur l'appareil à projection, ainsi qu'on le voit; ils se composent (*fig.* 2 et 3) :

1° Lames de verre avec barreau aimanté, électro-aimant;

2° Cuve simple en verre pour recevoir les liquides; cuve semblable avec électrodes en platine;

3° Cadran divisé, sur verre muni d'une aiguille aimantée montée sur pivot;

4° Cuve à couronne avec système rotatif, expérience d'Ampère;

5° Toupie en verre avec série de disques en mica pour les phénomènes optiques.

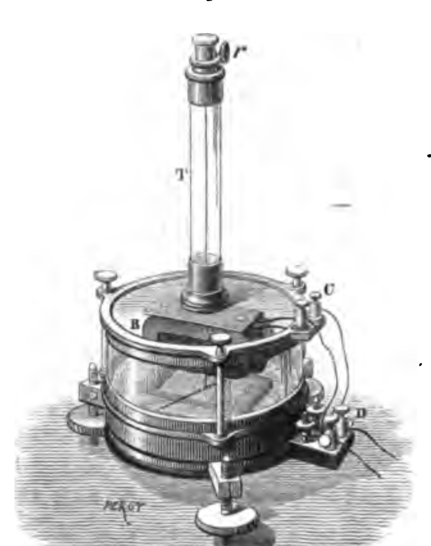
———

Galvanomètre transparent à projection;
par M. J. Duboscq.

Ayant souvent été témoin de la difficulté que l'on éprouve à faire constater à un nombreux auditoire les déviations de l'aiguille aimantée du galvanomètre, j'ai pensé à projeter sur un écran l'image du cercle gradué et de l'aiguille de cet instrument.

Le galvanomètre que je présente, en principe, ne diffère en rien des galvanomètres connus ; il est à gros fil et trouve son application immédiate dans l'étude de la chaleur rayonnante. On verra, dans la description succincte que j'en donne plus loin, que l'on peut diminuer sa sensibilité et l'appliquer à la démonstration de l'action des courants hydro-électriques sur l'aiguille aimantée.

Fig. 1.



Ce galvanomètre à projection, comme son nom l'indique, n'est pas un instrument de recherches : il est destiné à faciliter aux professeurs la démonstration, soit de la présence d'un courant, soit du rapport entre la force électromotrice d'une source électrique et l'angle de déviation du système astatique.

Il se compose essentiellement :

1° D'une cage circulaire en verre dans laquelle sont logés la bobine B et le système astatique (*fig.* 1) ; un cadran divisé sur glace forme le fond de cette cage ; en regard des divisions se meut une aiguille d'aluminium fixée perpendiculairement au système astatique.

La cage est surmontée par un tube en verre T terminé à son extrémité supérieure par un petit treuil *r*, sur lequel est enroulé le fil de cocon qui supporte le système d'aiguille.

2° D'un support à vis calantes sur lequel se place l'instrument quand on veut s'en servir directement sans en projeter l'image. La partie supérieure de ce support est formée par une surface blanchie sur laquelle se détachent les divisions du cadran. La partie inférieure en caoutchouc durci supporte deux bornes D soudées à deux plaques de cuivre portant les lettres H, T, hydro-électriques, thermo-électriques ; ces plaques sont traversées par des tiges isolées auxquelles sont soudés les fils de dérivation.

Veut-on projeter sur un écran les déviations de l'aiguille aimantée, il suffit de placer sur l'appareil vertical le galvanomètre (*voir* la *fig.* 2 de l'art. précédent), en reliant par de gros fils les bornes C de la bobine aux bornes D du pied ; ces dernières reçoivent toujours les fils de la pile.

Si la source électrique est faible, on laisse passer le courant directement, ce qui s'obtient en soulevant sur leurs tiges les boutons H, H ; si les courants sont plus intenses, on abaisse un des boutons H, de façon à le mettre en contact avec l'une des plaques métalliques du support, et à ne faire passer qu'un courant dérivé dans la bobine du galvanomètre.

SÉANCE DU 21 JANVIER 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 17 janvier est lu et adopté.

Le président donne lecture de deux lettres par lesquelles M. V. Regnault et M. Billet, nommés membres honoraires, présentent leurs remercîments à la Société.

Sont nommés membres de la Société : MM. d'Arlincourt, ingénieur électricien; Blondlot, attaché au laboratoire des Hautes Études de la Sorbonne; Meyer, ingénieur des télégraphes, et Sirvent professeur au collége Rollin.

Sont nommés membres du Conseil :

Membres résidants :	*Membres non résidants :*
MM. Berthelot.	MM. Duclaux, de Lyon.
Bertin.	Gripon, de Rennes.
Fizeau.	Andrews, de Belfast (Irlande).
Du Moncel.	Govi, de Turin.
Cornu.	Ternant, de Marseille.

M. F. Le Blanc fait connaître les procédés photométriques imaginés par MM. Dumas et Regnault et employés dans les bureaux du service municipal chargé de contrôler les qualités du gaz fourni par les usines de la Compagnie parisienne.

M. Marey donne la description d'un nouveau loch destiné à donner à un instant quelconque la vitesse de déplacement d'un navire par rapport au milieu liquide ambiant.

Méthode d'essai du pouvoir éclairant et de la bonne épuration du gaz à Paris; par M. F. Le Blanc.

Cette méthode pratique, proposée après des études suivies, par MM. Dumas et Regnault, a été adoptée pour vérifier la qualité du gaz fourni par la Compagnie parisienne. Le traité de la ville avec cette Compagnie oblige celle-ci à fournir un gaz présentant une pureté et un pouvoir éclairant déterminés.

Aujourd'hui, le gaz de houille livré, à Paris, par les sept usines de la Compagnie qui alimentent la capitale, est examiné, chaque soir, par les essayeurs du service municipal de Paris, dans onze bureaux ou chambres noires, réparties sur divers points.

D'après le traité de 1861, confirmé, à cet égard, par celui de 1870, la Compagnie doit fournir un gaz tel que, brûlé dans le bec réglementaire (c'est un bec d'Argand du système de Bengel), sous la pression de 2 ou 3 millimètres d'eau, il n'exige que 25 litres

ou 27^lit,5 de gaz, au maximum, pour être équivalent en pouvoir éclairant à celui d'une flamme de lampe Carcel, de dimensions réglementaires, et brûlant, pendant le même temps, 10 grammes d'huile de colza épurée (ce qui équivaut à une consommation de 42 grammes d'huile à l'heure). Au-dessus de cette limite de 27^lit,5, il y a déficit de pouvoir éclairant, et les conséquences en sont prévues par le cahier des charges.

MM. Dumas et Regnault, auteurs de la méthode d'essai que nous avons à décrire, avaient été amenés à définir de la manière suivante le système d'appareil de vérification qui devait satisfaire au but proposé :

Deux flammes d'égale intensité étant données, l'une produite par une lampe Carcel (brûlant dans des conditions fixées), l'autre par une lampe à gaz brûlant, autant que possible, dans les mêmes conditions, déterminer les consommations respectives d'huile et de gaz, dans un temps donné, par l'un et l'autre de ces appareils.

MM. Dumas et Regnault furent conduits à choisir comme bec *type*, pour le gaz, celui qui, par sa forme, se rapproche le plus de la lampe Carcel, brûlant 42 grammes d'huile de colza épurée à l'heure, à fixer les flammes G et K (*fig.* 1 et 2) dans une position invariable, à la même distance du photomètre, de telle sorte que, leurs intensités étant maintenues égales, en modifiant la dépense du gaz, en conséquence, il n'y eût, en définitive, que deux éléments à déterminer, à la fin de l'expérience, savoir le nombre de grammes d'huile brûlée et le nombre de litres de gaz consommés pendant ce même temps. Ces deux quantités devaient représenter aussi des nombres équivalents, eu égard au pouvoir éclairant des deux flammes.

L'expérience est faite dans les conditions du maximum de pouvoir éclairant, c'est-à-dire que la combustion du gaz, au bec type, s'effectue à la pression de 2 à 3 millimètres d'eau. Le photomètre employé V*c* (*fig.* 1 et 2) est le photomètre de Foucault [1], à plaques de verre amidonnées, auquel on a ajouté une lunette T (*fig.* 2), qui permet l'observation dans le sens de l'axe de l'instrument.

---

(1) Il fut imaginé par cet habile physicien pour examiner le pouvoir éclairant du gaz de la tourbe comparé à celui du gaz de la houille, à Paris.

Le gaz, avant de se rendre au bec K (*fig.* 1), passe par un excellent compteur de Brunt NS (*fig.* 2 et 3) qui permet d'évaluer la consommation dans un temps donné, à $\frac{1}{20}$ de litre près; il est muni d'un robinet très-sensible, qui permet de régler, à chaque instant, la dépense du gaz. L'observateur, placé dans le compartiment obscur, a l'œil au photomètre pour conserver à la flamme du gaz un pouvoir éclairant toujours égal à la flamme type de la Carcel servant d'unité de lumière. Il lui suffit, pour cela, de modifier la dépense du gaz à l'aide du robinet à tête circulaire

L'axe du compteur porte deux aiguilles, l'une pouvant être rendue fixe ou mobile à volonté, l'autre étant constamment en mouvement lorsque le gaz passe dans le compteur; un système de levier que l'on pousse permet de faire partager, à un moment donné, à l'aiguille fixe le mouvement de rotation de l'arbre du volant du compteur et détermine, simultanément, le départ des aiguilles des minutes et des secondes d'un petit compteur chronométrique O (*fig.* 2 et 3), implanté au-dessus du compteur à gaz.

Un bâti en fonte A, placé dans la chambre noire, derrière la cloison où est enchâssée la plaque C du photomètre (et où séjourne l'observateur dans l'obscurité), supporte à la fois le compteur à gaz, le bec de gaz E ([1]) et une balance particulière dont l'un des plateaux reçoit la lampe Carcel réglementaire G.

Cette balance, construite avec un succès complet par M. Deleuil, sur les indications fournies par MM. Dumas et Regnault, est représentée *fig.* 2 et 4; l'aiguille porte un *marteau automatique* E qui ne peut tomber qu'à la droite de l'observateur et indique avec une précision de 1 centigramme, pour une charge de 3 kilogrammes dans chaque plateau, le moment où la lampe, préalablement tarée, a consommé une quantité déterminée d'huile, dans un temps qui est accusé par la course des aiguilles du compteur chronométrique.

En effet, lorsque la lampe allumée a été équilibrée par sa tare dans le plateau opposé ([2]), une petite quantité d'huile venant à être brûlée, à partir de ce moment, l'équilibre est rompu; la chute

---

([1]) Le gaz, brûlé par ce bec, ne passe pas par le compteur.

([2]) On peut voir que la disposition est telle, que le fléau de la balance ne peut être influencé par la chaleur provenant de la combustion de la lampe.

du marteau sur le timbre F (*fig.* 4) indique que l'expérience commence. L'observateur, placé devant le photomètre et le compteur, met, immédiatement, en mouvement l'aiguille indicatrice du compteur à gaz, et, du même coup, les aiguilles du compte-secondes,

Fig. 1 à 4. — Appareils photométriques de MM. Dumas et Regnault pour la vérification du pouvoir éclairant du gaz.


Fig. 1.

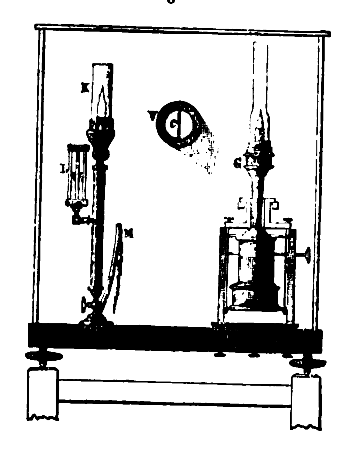
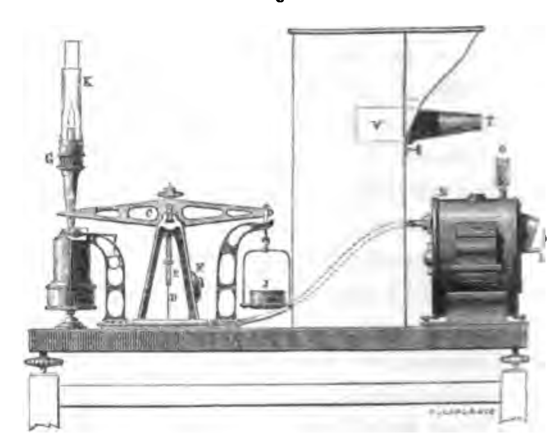


Fig. 2.



Légende.— MK, bec à gaz type. L, manomètre à eau, indiquant la pression au bec. Le gaz venant du compteur arrive au bec par le tube M. La lampe Carcel G est placée sur l'un des plateaux de la balance CDEF. Dans l'autre plateau est la tare J. La *fig.* 4, à échelle amplifiée, indique la disposition du timbre F et du marteau *automatique* E, dépendant de l'aiguille du fléau C. Ce marteau, logé dans le creux de la partie supérieure de l'aiguille, ne peut se maintenir vertical (lorsqu'il a été relevé) que dans la situation verticale de l'aiguille; une goupille l'empêche de pouvoir tomber du côté opposé au timbre. Dès que le fléau s'incline à gauche, la tare devenant plus lourde que la lampe, le marteau ne peut conserver sa position d'équilibre instable; il tombe, le timbre résonne et l'opérateur est averti du moment de commencer ou de mettre fin à l'expérience. La balance CDEF est en fonte.

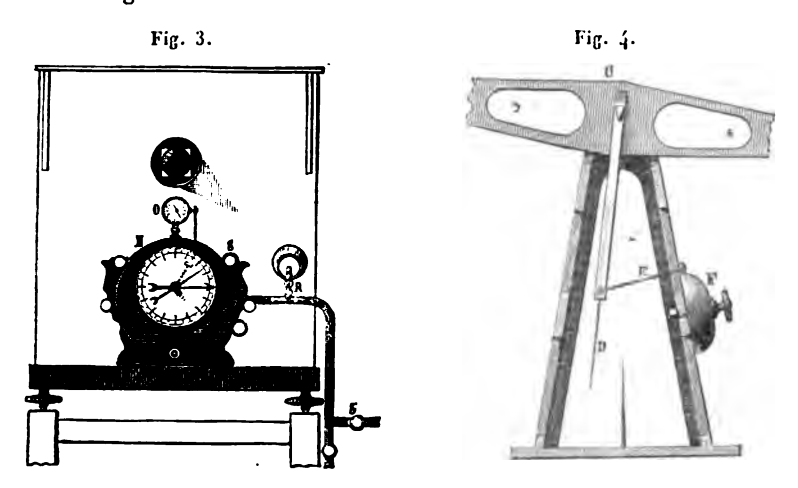
NS, compteur à gaz. O, chronomètre. R, bec-bougie à gaz, surmonté d'un capuchon à charnière, et qui sert à éclairer le cadran au moment de la lecture. *b*, tube amenant le gaz dans le compteur.

lesquelles étaient au zéro. Cela fait, on relève le marteau et l'on place du côté de la lampe G un poids de 10 grammes. Lorsque 10 grammes d'huile sont consommés, l'aiguille D de la balance trébuche (*fig.* 4), le marteau tombe sur le timbre F et avertit, par là, l'opérateur que l'expérience est terminée. Celui-ci pousse alors le

levier et arrête le mouvement de l'aiguille indicatrice du compteur à gaz et des aiguilles du chronomètre.

Le chemin parcouru par l'aiguille, sur le cadran du compteur à gaz, donne, en litres et fractions, la consommation pendant le temps accusé par le compte-secondes, ce qui permet, en même temps, de reconnaitre si la combustion de l'huile s'est effectuée dans les conditions réglementaires.

Fig. 3. Fig. 4.



Il est bien entendu que l'observateur, placé dans la chambre noire, applique, de temps en temps, l'œil au photomètre et maintient identique le pouvoir éclairant des deux flammes. Il a pour cela, à sa portée, le robinet d'admission du gaz dans le compteur, robinet dont la sensibilité est telle, qu'elle permet de faire varier le débit du gaz de très-faibles quantités, en plus ou en moins, pour rendre le pouvoir éclairant de la flamme K égal à celui de la flamme G qui reste invariable pendant la durée d'un essai lorsque la lampe a été bien réglée, préalablement. (*Voir* la légende pour les *fig.* 1 à 4. Ces figures sont extraites du *Dictionnaire de Chimie* de M. Würtz, publié par la maison Hachette.)

Vérification de l'épuration. — Le gaz de l'éclairage devant, au terme du traité, être à l'épreuve de l'acétate de plomb, on vérifie sa qualité et l'absence d'acide sulfhydrique et de sulfhydrate d'ammoniaque avec l'appareil représenté ci-après (*fig.* 5).

Le gaz arrive dans la cloche en verre par les ouvertures d'un bec B, à trous du système Bengel lorsqu'on ouvre le robinet R. On le

fait écouler sous une pression de quelques millimètres d'eau, observée au manomètre M. Le gaz s'écoule au dehors par un tube communiquant avec la douille de la cloche. Une bande de papier *f*, préparée à l'acétate de plomb, est suspendue à une pince. Le gaz est débité à raison de 100 litres à l'heure, environ. Le papier doit rester entièrement blanc pendant un quart d'heure de passage du gaz.

A Londres, le gaz est soumis, de temps en temps, à des vérifica-

Fig. 5.



tions; un magistrat peut requérir un chimiste ou un ingénieur pour vérifier la qualité chimique du gaz et son pouvoir éclairant lorsqu'il survient une plainte émanant, soit de la municipalité, soit d'un consommateur privé. Il y a des gaz de diverses richesses ayant des canalisations spéciales.

Les expériences se font avec un bec d'Argand réglementaire à 15 trous et à cheminée de 7 pouces de hauteur. L'unité de lumière servant à la comparaison est celle d'une bougie type en blanc de

baleine; la consommation de gaz par le bec d'Argand, dans un temps donné, sous une pression déterminée, est fixée entre certaines limites pour équivaloir à un multiple de la lumière fournie par la bougie type.

Le photomètre le plus généralement employé en Angleterre, et en Allemagne également, est le *photomètre de Bunsen* ou *photomètre à tache*.

Il y a, à Londres, plusieurs gaz dont les qualités sont spécifiées par le traité uniforme imposé aux Compagnies. Brûlant sous le volume de 5 pieds cubes ou de 141 litres, à l'heure, le gaz doit fournir une lumière équivalente à celle de 12 bougies (gaz ordinaire, de Londres ou de Paris), de 20 bougies (gaz riche du *cannel-coal*), ou de 40 bougies (gaz de luxe, du *boghead*).

L'essai chimique est fait à l'aide du papier d'acétate de plomb et du papier rouge de tournesol. De plus, les traités imposent que le gaz ne doit pas contenir plus de 20 grains de soufre, sous quelque forme que ce soit, par 100 pieds cubes de gaz ($0^{gr},40$ par mètre cube).

L'opérateur qui vérifie le pouvoir éclairant du gaz doit toujours se placer, pour opérer, à une distance d'au moins mille *yards* de l'usine (1 kilomètre environ). Cette précaution est observée, aussi, à Paris.

Nous croyons que le système français de vérification du pouvoir éclairant du gaz est supérieur, en exactitude, au système précité, en raison de la plus grande sensibilité des moyens photométriques et de l'emploi d'une unité de lumière moins sujette à variations. Au surplus, la lampe à huile commence à être substituée, en Angleterre, à la bougie comme unité de lumière.

Description d'un loch à cadran indiquant à tout instant la vitesse d'un navire; par M. Marey.

Lorsque Pitot imagina de mesurer la vitesse d'un courant d'eau à l'aide du tube qui porte aujourd'hui son nom, il comprit que le problème était réversible et que le même appareil pouvait exprimer la vitesse avec laquelle on le transporte dans un liquide immobile.

Pitot indiqua donc expressément que son appareil peut servir a mesurer le sillage d'un navire. Darcy, en modifiant le tube de Pitot, montra que, sous sa forme primitive, cet instrument ne pouvait être utilement employé; il lui donna la disposition qui est généralement acceptée aujourd'hui par les ingénieurs hydrauliciens.

Deux tubes verticaux parallèles, t, t', sont coudés à angle droit à leur extrémité inférieure, comme dans la *fig.* 1, et ces branches coudées, a, a', s'ouvrent en sens inverse l'une de l'autre. Quand on plonge ces deux tubes dans une rivière, de façon que l'un d'eux présente son ouverture au courant de l'eau, l'autre s'ouvre par conséquent en sens opposé. Or, dans le premier tube, le niveau s'élève au-dessus de celui de la rivière, et cela d'autant plus que le courant est plus rapide. Le niveau de l'autre tube se tient audessous de celui de la rivière, d'une quantité égale à celle dont le premier s'est élevé. Cette disposition est celle que Pitot avait imaginée; elle est fort peu pratique, car le changement de niveau qui se produit dans les deux tubes se passe très-près de la rivière et exigerait, pour être apprécié, que l'œil de l'observateur fût placé à fleur d'eau. Darcy imagina de déplacer le lieu où se produit cette dénivellation et de l'amener, sous l'œil de l'observateur, à une hauteur commode. Pour cela, il réunit, par en haut, les branches verticales t_1, t'_1, des deux tubes en un tube unique T, et par cette branche unique exerce une aspiration sur les deux tubes de Pitot à la fois. L'eau s'élève dans ces deux colonnes jusqu'à la hauteur que l'on juge commode, et, en s'élevant, les niveaux conservent la différence qu'ils présentaient sous l'influence de la vitesse de la rivière.

Sous cette forme, l'instrument de Darcy pourrait servir à mesurer la vitesse d'un bateau, si les tubes traversant la coque plongeaient dans l'eau leurs extrémités coudées, pendant qu'à l'intérieur un observateur mesurerait, à chaque instant, la différence de leurs niveaux. Mais il faudrait supposer ce bateau dans des conditions à peu près irréalisables, glissant sans roulis ni tangage sur une eau dont aucune vague ne viendrait rider la surface. La moindre oscillation du bateau, se transmettant à l'instrument, imprimerait aux colonnes liquides une agitation qui rendrait la lecture impossible; ces oscillations auraient des périodes différentes

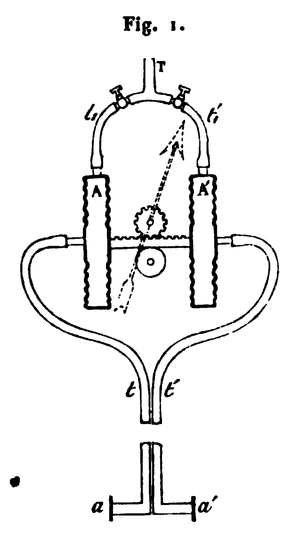
pour les deux colonnes, dont la longueur n'est pas égale; enfin les vagues, faisant sans cesse varier la pression de l'eau sur les tubes immergés, tiendraient leurs niveaux dans une agitation continuelle.

Le loch dont je propose l'emploi est en quelque sorte un appareil de Darcy, dépourvu d'oscillations et soustrait aux influences perturbatrices dont il vient d'être parlé; il n'accuse, en effet, que la différence des pressions qui existent dans les deux tubes de Pitot immergés.

Deux capsules, A, A', semblables à celles des baromètres anéroïdes, mais remplies d'air, sont montées sur un même cadre métallique, parallèlement l'une à l'autre. Leurs faces qui se regardent sont réunies par une pièce de cuivre dentée en crémaillère à son bord supérieur, tandis que le bord inférieur est plat et court sur un galet. La crémaillère actionne un pignon dont l'axe porte une aiguille qui tourne sur un cadran diviseur.

Si l'on fait arriver une pression quelconque dans l'une des capsules manométriques, celle-ci se gonflera et poussera la crémaillère contre la capsule opposée; dans son transport latéral, la cré-

Fig. 1.



maillère fera tourner le pignon et par suite l'aiguille, qui marquera un certain nombre de degrés; mais, si l'on envoyait dans ces capsules deux pressions égales, ces efforts égaux et contraires se

neutraliseraient parfaitement, la crémaillère ne bougerait pas, l'aiguille resterait fixe sur le cadran. Cet instrument ne signale que des différences de pression entre les deux capsules; suivant le sens de la marche de son aiguille et le nombre de degrés parcourus, il indique le sens et la valeur de cette différence de pression.

Il s'agit d'envoyer dans ces capsules manométriques les pressions inégales que la vitesse d'un bateau crée dans deux tubes de Pitot immergés.

Le procédé de Darcy, c'est-à-dire l'aspiration, sert à faire arriver l'eau dans les deux capsules manométriques du loch. A cet effet, la partie supérieure de ces capsules porte un tube de caoutchouc de petit calibre, mais à parois épaisses, capable de résister à la pression atmosphérique, mais assez flexible pour ne pas gêner les mouvements de l'appareil. Ces tubes, réunis en T, servent à faire l'aspiration jusqu'à ce que l'appareil soit purgé d'air et rempli d'eau. On les ferme alors et l'instrument est prêt à fonctionner.

Placé sur une table, dans un bateau, cet instrument se montre indifférent aux influences perturbatrices qui feraient osciller l'appareil de Darcy. On peut enfoncer les tubes de Pitot à différentes profondeurs, leur imprimer de brusques mouvements verticaux de plongement sans que la position de l'aiguille varie. Au contraire, tout changement dans la vitesse s'accuse par une indication que l'on peut rendre aussi grande que l'on désire en sensibilisant l'instrument. Je n'ai pu jusqu'ici expérimenter cet appareil que sur un lac et sur la Seine, où j'obtenais, bien entendu, suivant le sens de la marche du bateau, des indications très-différentés, car un loch ne peut fournir que l'expression de la vitesse relative du bateau par rapport à l'eau; j'espère avoir l'occasion d'expérimenter en mer.

Le loch à cadran peut être transformé en appareil inscripteur qui fournirait la courbe des variations de la vitesse, et si, au moyen d'une disposition probablement facile à réaliser, on rendait les ordonnées de ces courbes proportionnelles aux vitesses, les aires mesurées au planimètre indiqueraient le chemin parcouru. Mais telle n'est pas, je pense, l'utilité que cet appareil présente. On a, paraît-il, d'autres lochs qui indiquent avec une précision suffisante le chemin parcouru, mais qui se prêtent difficilement à la mesure

rapide de la vitesse actuelle. En effet, jeter le loch, compter le temps, estimer les tours d'hélices ou les nœuds qu'on a filés, cela constitue une opération relativement longue, qu'on ne fait à bord que deux ou trois fois par jour, et qu'on ne saurait répéter à chaque instant pour contrôler les effets de telle ou telle manœuvre.

Imaginons, au contraire, que le commandant ait sous les yeux un cadran qui exprime la vitesse actuelle, il réglera aisément ses manœuvres d'après les effets mêmes qu'elles produisent sur la marche. Un voilier saura ce qu'il gagne ou ce qu'il perd en vitesse, suivant la quantité de toile qu'il déploie ou qu'il cargue. Dans les évolutions d'escadres, chaque navire pourra régler sa vitesse comme il le doit, d'après le rang qu'il occupe. Enfin, au moment de l'entrée au port ou de la sortie, un capitaine pourra contrôler sa vitesse et s'assurer qu'elle n'excède pas le degré que la prudence recommande. Qu'on me pardonne ces appréciations sur la valeur d'un instrument qui n'a pas encore fait ses preuves, elles ne m'appartiennent pas; ce sont celles de plusieurs commandants de vaisseau, auxquels j'ai demandé si un indicateur continu de vitesse pourrait rendre des services, et qui m'ont dit qu'un pareil instrument serait fort utile pour la rapidité et la sécurité de la navigation.

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 21 janvier est lu et adopté.

M. William Thomson et le P. Secchi, nommés membres honoraires, et M. Ternant nommé membre du Conseil, adressent leurs remercîments à la Société.

Sont élus membres de la Société : MM. Jennesson, ancien principal à Xivry-le-Franc; l'abbé Lalance, curé de Xivry-le-Franc; Laporte, lieutenant au 3e bataillon de chasseurs à pied, au camp d'Avor; Platzer, professeur de mathématiques.

M. Caspari fait une communication sur les spiraux des chronomètres.

M. Chautard communique à la Société les résultats de ses travaux sur le spectre d'absorption de la chlorophylle ; il répète ensuite ses expériences sur les modifications produites dans l'illumination des tubes contenant des gaz raréfiés, traversés par une décharge électrique quand on soumet ces gaz à l'action d'aimants puissants.

M. Cailletet présente un manomètre destiné à mesurer des pressions de plusieurs centaines d'atmosphères.

La séance est levée à 10 heures.

Sur l'isochronisme des spiraux de chronomètres; par M. E. Caspari.

Le problème de l'isochronisme se pose dans plusieurs questions de Physique : nous ne rappellerons que les vibrations des diapasons. Mais, généralement, il peut se traiter par des méthodes approximatives, et pour des vibrations que l'on considère comme infiniment petites ; dès qu'on peut admettre la proportionnalité suffisamment exacte entre l'écartement d'un corps de sa position d'équilibre et la force qui tend à l'y ramener, le mouvement oscillatoire qui en résulte est isochrone.

Dans les chronomètres, le problème est plus compliqué. D'une part, un balancier de chronomètre exécute des oscillations très-étendues, jusqu'à 225 degrés de part et d'autre de sa position d'équilibre, et cette amplitude est sujette à varier considérablement, quand, sous l'influence de l'épaississement des huiles qui lubrifient les pivots du balancier et les pièces du rouage, les frottements des pivots augmentent en même temps que l'action du moteur diminue ; j'ai eu occasion d'observer des chronomètres dont les demi-amplitudes étaient réduites à 135 degrés au bout de trois ans de marche.

D'un autre côté, pour se faire une idée de la précision qu'on est en droit de demander aux montres marines, il suffit de se rappeler

qu'une erreur de quatre secondes sur l'heure du premier méridien équivaut à une erreur de 1 minute de longitude, soit, sous l'équateur, 1855 mètres. Il suffit donc que l'avance diurne d'un chronomètre, déterminée dans un port, ait varié d'une seconde pour qu'au bout de quarante jours de traversée ce chronomètre donne lieu à une erreur de 18 kilomètres sur la position du navire aux environs de l'équateur; et, si l'on réfléchit que cette erreur d'une seconde équivaut à une altération de la durée des battements égale à $\frac{1}{86400}$ de leur valeur, on comprendra aisément l'énorme précision recherchée par les horlogers.

Nous n'avons pas à nous occuper ici des dérangements de marche, dus aux variations de température, que l'on est arrivé à supprimer presque exactement par l'adaptation aux chronomètres des balanciers compensateurs, fondés sur les propriétés des lames bimétalliques sur lesquelles est basée la construction du thermomètre Bréguet. L'objet que j'avais d'abord en vue, c'était d'arriver à supprimer les altérations de marche dues aux causes énumérées plus haut, qui ont pour résultat de diminuer l'amplitude des excursions du balancier.

Pierre Leroy, le premier, a découvert cette propriété curieuse qu'il existe dans tout ressort spiral une longueur telle, qu'avec un balancier donné les grandes et les petites oscillations ont la même durée; mais les spiraux construits d'après cette règle ne se déforment pas régulièrement. M. Phillips a fait faire un pas décisif à la question en montrant que, si l'on donne aux extrémités du spiral certaines formes qu'il a appris à construire, on arrive à ce résultat que, quelle que soit la longueur totale du spiral, le moment de son action sur le balancier est proportionnel à l'angle dont celui-ci est écarté de sa position d'équilibre. Rappelons que le spiral du chronomètre de précision n'a pas la forme d'une spirale, mais celle d'un ressort à boudin. Mais cette proportionnalité n'a lieu qu'à l'état statique; dès que le régulateur est en mouvement, l'isochronisme rigoureux se trouve altéré :

1° Par l'influence de la masse du spiral;

2° Par les variations que subissent les dimensions du balancier sous l'action des forces d'inertie développées par la rotation.

C'est sur ce point qu'ont porté mes recherches. J'ai démontré, en complétant les équations du mouvement, que :

1° Par l'effet de l'inertie du spiral, la durée des oscillations est représentée par

$$T = \pi\sqrt{\frac{AL}{M}}\left[\left(1+\frac{\delta^2}{2}-\frac{\delta^4}{8}\right)+\frac{3}{4}\frac{\delta^2}{p^2}\alpha_0^2\right],$$

A étant le moment d'inertie du balancier, L la longueur du spiral et M son moment d'élasticité ; δ^2 le rapport de son moment d'inertie à celui du balancier, p le nombre de tours de l'hélice et α_0 l'amplitude des oscillations. En calculant la valeur numérique de la perturbation, on trouve que, si α_0 varie de $\frac{\pi}{2}$ à $\frac{3\pi}{2}$, on a un retard d'une seconde par jour avec les chronomètres du modèle de ceux construits par M. Winnerl ;

2° Que cet effet est exagéré encore par l'influence de la force centrifuge dans les modèles de balancier ordinairement employés ; mais qu'en tout état de cause, et quelle que soit la forme du balancier, les forces d'inertie tangentielles, tout en produisant une déformation, n'influent pas sur la durée des battements du chronomètre.

La discussion des formules montre que, pour des spiraux de même longueur et de même élasticité, la perturbation est proportionnelle à la quatrième puissance du rayon.

En expérimentant un chronomètre de M. Th. Leroy, pourvu successivement par l'artiste de deux spiraux en acier de même longueur, avec des amplitudes de 400 et 320 degrés, j'ai trouvé

Avec un spiral de $5^{mm},6$ de rayon	5^s par jour d'accélération des petits arcs
» 8,5 »	8^s »

La différence de trois secondes est due au changement de rayon des spiraux ; le reste de la perturbation doit être attribué à la force centrifuge.

La conclusion à tirer de là, c'est que, pour perfectionner les chronomètres, il faut :

1° Réduire légèrement le rayon des spiraux ;

2° Trouver un balancier moins déformable par l'action de la force centrifuge, tout en restant suffisamment déformable par la chaleur. — Ce dernier résultat me paraît atteint par le balancier

nouveau modèle, imaginé et exécuté par M. Winnerl, et que nous avons expérimenté avec succès au Dépôt de la Marine.

Cette question du chronomètre se rattache par un côté à la Physique pure, comme on va voir.

Si l'on construit un chronomètre ayant un balancier en laiton et un spiral en acier, on trouve que sa marche retarde de onze secondes pour chaque degré d'élévation de la température.

Or la durée des oscillations de ce chronomètre est à fort peu près donnée par la formule de M. Phillips

$$T = \pi \sqrt{\frac{AL}{M}},$$

dont on a expliqué plus haut les notations.

Si maintenant on calcule l'effet que produiraient les variations du moment d'inertie du balancier de laiton et celle de la longueur du spiral, pour un degré d'élévation de température, on trouve deux secondes de retard; restent donc neuf secondes de retard qui ne peuvent être attribuées qu'à la variation M, c'est-à-dire du moment d'élasticité du spiral. Or $M = EI$, E représentant le coefficient d'élasticité, et I le moment d'inertie de la section, la variation de I donne une seconde; donc il en reste dix pour la variation de E. Il est donc prouvé que le coefficient de variation de l'élasticité par l'action de la température est plus grand notablement que le coefficient de dilatation. On aurait même dans ces expériences un moyen de le calculer assez exactement pour l'acier trempé; la température diminue l'élasticité plus rapidement qu'elle n'augmente les dimensions. Soient γ le coefficient de dilatation de l'acier, γ' celui du laiton, x le coefficient de variation du coefficient d'élasticité; on a, pour deux températures différant de un degré,

$$T_0 = \pi \sqrt{\frac{AL}{EI}},$$

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{A(1+\gamma')^2 L(1+\gamma)}{E(1+x) I (1+\gamma)^2}} = \pi \sqrt{\frac{AL}{EI}} (1 + 2\gamma' - \gamma - x)^{\frac{1}{2}};$$

et, comme

$$T_1 - T_0 = T \frac{11^s}{1086400}, \quad \gamma = 0,0000185, \quad \gamma = 0,0000125, \quad T_0 = \frac{1^s}{4},$$

on trouve

$$x = -0,00023,$$

soit presque vingt fois le coefficient de dilatation.

On voit aussi quelle est la différence entre le balancier compensateur et le pendule ; ce dernier doit rester constant de longueur ; le balancier, au contraire, doit être construit de telle manière que son rayon de gyration diminue quand la température croît, et diminue quatre ou cinq fois plus que les dilatations dues à la même élévation de température ne feraient croître les dimensions d'un métal homogène.

Enfin on a ainsi l'explication d'une des causes d'insuccès des spiraux en or trempé, essayés à plusieurs reprises ; la densité de l'or étant deux fois et demie celle de l'acier, et son élasticité environ deux fois et demie moindre, les spiraux en or ont un moment d'inertie six fois plus grand que ceux en acier de même force ; la perturbation de ces derniers se trouve, par suite, multipliée par 6.

Action du magnétisme sur le spectre des gaz raréfiés illuminés par une décharge d'induction; par M. J. Chautard.

Dans le cours de ses études, relatives à l'action des aimants sur les décharges électriques dans les gaz raréfiés, M. Plücker a reconnu que, selon le sens de la décharge et de l'aimantation, le gaz illuminé est attiré ou repoussé par l'aimant, et que, de plus, la concentration du jet qui résulte de la même action est accompagné d'un changement de couleur. J'ai reconnu que le spectroscope permet, dans les mêmes circonstances, de déceler sur la lumière du gaz les modifications les plus curieuses et les plus inattendues. Cette étude demande une série d'essais, longs, délicats, qui ne peuvent être réalisés qu'à force de travail, de temps et de patience. Je me propose de résumer ici les principaux résultats auxquels je suis arrivé.

Les appareils employés pour contenir les gaz raréfiés ne sont autres que des tubes de Geissler, dont la partie longue et étranglée

est disposée entre les pôles d'un fort électro-aimant et perpendiculairement à ceux-ci. L'appareil que construit M. Ruhmkorff pour les expériences de diamagnétisme, animé par une pile de Bunsen d'au moins 15 éléments, convient bien dans la plupart des cas. Le spectroscope employé est celui de M. Duboscq, qui peut être muni à volonté de 1, de 2 ou de 3 prismes. Dans tous les cas, l'extrémité terminée par la fente doit être placée dans le voisinage du tube illuminé, presque au contact des pôles de l'aimant. L'étincelle peut être obtenue, soit à l'aide d'une bobine d'induction, soit à l'aide d'une machine de Holtz ou de Carré. Les divisions du micromètre, préalablement repérées sur les lignes de Fraunhofer, permettent de transformer immédiatement en longueur d'onde les couleurs correspondantes du spectre.

J'ai comparé des tubes de provenances les plus diverses : les uns ont été préparés par moi, d'autres par M. Alvergniat ou feu Séguy, constructeurs à Paris; enfin M. Ruhmkorff m'en a procuré qui venaient directement de M. Geissler. Voici la liste des substances que j'ai examinées :

Oxygène,	Acide carbonique,	Acide chlorhydrique,	Chlorure d'antimoine,
Hydrogène,	Oxyde de carbone,	» bromhydrique,	» de bismuth,
Azote,	Hydrogène bicarboné,	» sulfureux,	» de mercure,
Soufre,	» sulfuré,	Fluorure de silicium,	Protochlorure d'étain,
Sélénium,	» phosphoré,	» de bore,	Bichlorure d'étain.
Mercure,	Ammoniaque,	Chlorure de silicium,	
Chlore,	Cyanogène,	Bromure de silicium,	
Brome,	Protoxyde d'azote,		
Iode,			

J'arrive maintenant à l'analyse des principales particularités du phénomène, ainsi que des circonstances qui peuvent le modifier.

1° Dans les corps simples de la famille du chlore et les composés gazeux ou volatils qui en dérivent, l'action de l'aimant est immédiate et s'accuse, non-seulement par un changement de teinte du tube, mais surtout par une illumination plus complète des raies, qui apparaissent alors avec un éclat merveilleux, en se dédoublant quelquefois. Je citerai en particulier : le *chlore,* le *brome,* l'*iode,* les *chlorure, bromure* et *fluorure* de silicium, le *fluorure* de bore, les acides *chlorhydrique* et *bromhydrique,* le *protochlorure* et le *bichlorure* d'étain

2° La lumière de certaines substances, notamment celles du soufre et du sélénium, peut s'éteindre complétement au moment où l'aimant est animé.

3° L'éclat de la lumière de l'oxygène, assez pâle du reste, n'éprouve pas de modification bien sensible de la part de l'aimant. Il en est de même des composés du carbone, tels que : *acide carbonique, oxyde de carbone, hydrogène proto* et *bicarboné.*

4° Les belles bandes du spectre de l'azote ne subissent d'altération que dans la partie rouge et orangée. Ces couleurs s'éteignent à peu près complétement ou du moins sont remplacées par une teinte plate assez uniforme, dans laquelle toute trace de cannelure a disparu. Quant aux bandes de la partie la plus réfrangible, elles demeurent à peu près intactes.

5° Pour bien juger de l'action de l'aimant, il faut faire en sorte que le spectre, au début, n'ait pas un éclat considérable : aussitôt que le courant passe dans l'électro-aimant, on voit les raies dans toute leur splendeur. Je me suis servi dans toutes mes expériences d'une petite bobine (modèle de 100 francs) donnant des étincelles de $0^{m},01$ à $0^{m},015$ et amorcée à l'aide de 2 éléments Bunsen.

6° Les phénomènes sont les mêmes lorsque le courant induit est emprunté à une machine de Holtz ou à une bobine de Ruhmkorff.

7° Lorsque le tube a fonctionné pendant un certain temps, il subit une influence moins énergique de la part de l'aimant, effet que l'on peut attribuer, soit à l'élévation de la température, ainsi que cela a lieu avec l'hydrogène, soit à une modification chimique éprouvée par le gaz lui-même, comme cela arrive avec le cyanogène, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque et plusieurs autres.

8° La pression du gaz intervient dans l'action de l'aimant à tel point, qu'avec le même corps il est impossible, selon le cas, d'obtenir soit la cessation subite du courant induit, soit une modification notable dans l'apparence spectrale, soit enfin la permanence de la teinte primitive.

9° En variant la teinte du courant induit, on peut obtenir des effets analogues à ceux qui résultent de la variation de pression du gaz. En général, les modifications lumineuses magnétiques sont d'autant plus accentuées que la tension primitive est plus faible.

10° Le sens du courant induit, comme aussi celui de l'aimantation, donne des effets assez identiques. Cependant certains corps

semblent subir une influence plus énergique au moment où l'on renverse le courant.

11° La forme des armatures doit être considérée surtout au point de vue de la surface : celle-ci devra être plane et telle que le tube capillaire soit embrassé sur la plus grande partie de sa longueur.

12° Il est évident que les phénomènes seront d'autant plus nets que l'aimantation sera plus énergique. On la détermine ordinairement à l'aide d'une pile de 12 à 15 éléments Bunsen, grand modèle.

13° L'action de chaque pôle isolément est très-faible; ce n'est que sous l'influence simultanée des deux pôles que les phénomènes acquièrent leur maximum d'intensité.

14° Enfin l'action diminue rapidement avec la distance; on s'en assure en éloignant peu à peu le tube à un demi-centimètre environ des pôles; au delà de cette limite, l'influence de l'aimant cesse de se manifester.

Le fait sur lequel nous insisterons surtout est l'accroissement de résistance éprouvé par le courant induit sous l'influence de l'aimant. Cette résistance est quelquefois telle que le courant peut être subitement intercepté au moment où l'aimant entre en jeu. Lorsque le filet lumineux persiste, il subit dans le tube capillaire un rétrécissement qui peut quelquefois s'apercevoir à simple vue, surtout si, dans le cours de sa longueur, le tube n'offre pas partout le même diamètre : on observe dans la partie la plus large un spectre à bandes, ou même un spectre tout à fait continu, qui se transforme, sous l'influence de l'aimant, en un spectre linéaire analogue à celui que présente naturellement la partie la plus étroite du tube. C'est un résultat que j'ai vérifié avec le chlore, le brome, l'iode, l'hydrogène.

Cette augmentation de résistance, qui accompagne le rétrécissement du filet lumineux, produit une élévation de température, variable suivant la nature du gaz, qui modifie non-seulement l'aspect des raies, mais aussi quelquefois la nature chimique du corps raréfié, si ce corps est composé.

Ainsi le protochlorure d'étain cristallisé et sec, mais hydraté, offre un phénomène des plus remarquables de dissociation, sous l'influence de l'aimant. A l'état normal, le spectre est pâle et présente quelques-unes des raies vertes du chlore; mais, dès que l'aimant entre en jeu, on voit se dessiner deux des raies caractéristi-

ques de l'hydrogène, la rouge et la bleue, qui persistent tant que l'aimantation dure, qui disparaissent aussitôt qu'elle cesse, et cela pour ainsi dire indéfiniment. Je ne puis interpréter ce phénomène que par la séparation momentanée des éléments de l'eau du sel, sous l'empire de la résistance considérable opposée au passage du courant induit pendant la durée de l'aimantation.

Un autre exemple nous est fourni par le fluorure de silicium. Les tubes de Geissler, au fluorure de silicium, offrent un spectre qui se distingue par un certain nombre de bandes, dont les principales ont pour longueur d'onde, en millionièmes, 624, 618, 576, 565, 536, 528, 520, 503, 498. Au moment où l'aimant entre en jeu, toutes ces raies disparaissent, et le spectroscope n'en laisse plus apercevoir que trois autres, très-lumineuses et nouvelles : l'une, dans le rouge, dont la longueur correspond à 634; puis, dans le vert, une double raie, dont les ondulations coïncident avec une valeur de 509 et de 504. Si alors on interrompt le courant magnétique, ces diverses raies s'évanouissent. Ne serait-ce point là encore l'indice d'une réaction chimique nouvelle produite sous l'influence de l'aimant ?

Avec les tubes à hydrogène, ainsi qu'avec quelques autres gaz, on voit quelquefois apparaître, lorsque l'électro-aimant est assez énergique, une raie jaune très-brillante, scintillant par place, et qui n'est autre chose que la raie du sodium provenant de la soude du verre. Si le verre du tube, au lieu d'être à base de soude, était à base de potasse, cette raie n'apparaîtrait pas, ce qui donne une preuve évidente de son origine.

Je ferai remarquer, en terminant, que chaque observateur, avant de calculer les résultats numériques de ses expériences, doit déterminer d'abord l'erreur qui lui est propre et que l'on peut appeler son *équation personnelle*. Il m'est arrivé, en effet, de faire faire, dans le cours d'une même séance, des observations par plusieurs personnes, familières cependant avec le maniement du spectroscope, et d'obtenir chaque fois des nombres différents. Toutefois cet écart, qui n'excède jamais 0° 30′ à 1 degré du micromètre, est, pour chaque individu, le même d'un nombre à un autre; aussi, dans le calcul définitif, est-il facile d'en tenir compte et de rendre tous les résultats comparables.

Quelques mots sur les raies de la chlorophylle et leurs applications, par M. J. Chautard.

I. *Caractères spectroscopiques des dissolutions de chlorophylle.* — La chlorophylle a de nombreux dissolvants, parmi lesquels on doit citer l'alcool, le chloroforme, l'éther, le sulfure de carbone, les huiles minérales, les essences végétales, les huiles grasses. On obtient facilement une solution concentrée en faisant macérer, à froid ou à une douce chaleur, des feuilles récemment cueillies et contusées, avec le liquide dont on a fait choix. Cette dissolution, filtrée et soumise au spectroscope, laisse apparaître dans le champ de l'instrument de magnifiques bandes noires dont la position, le nombre, la largeur, l'intensité, peuvent varier dans des limites assez étendues.

Les premières indications relatives à cet ordre de phénomènes remontent déjà assez loin et sont dues à Brewster qui, en 1834, annonça la présence d'une bande noire séparant le rouge du vert dans l'image spectrale de la chlorophylle.

Cette question est devenue, depuis cette époque, l'objet de nombreux Mémoires dont le plus important, et qui résume le mieux les faits connus jusqu'alors, est celui de M. G. Krauss, professeur à Erlangen, intitulé : *Zur Kennitniss der Chlorophyllfarbstoffe*, (brochure in-8°, Stuttgard, 1872). Ici, je serai sobre de détails, désirant me borner aux recherches qui me sont personnelles et qui se rattachent plus spécialement aux problèmes que j'ai eu l'intention d'étudier.

L'appareil qui convient le mieux pour ces sortes de recherches est le spectroscope à un prisme, de M. Duboscq, dont le micromètre est réglé de telle sorte, que la raie brillante de la soude coïncide avec le n° 40. Dans mes expériences, la raie A de Fraunhofer correspondait avec le n° 10, et la raie H avec la division 150. On obtenait un réglage à peu près identique en amenant la raie verte du thallium sur le n° 60. Partant de là, il sera toujours facile de rendre les observations comparables.

Comme source de lumière, je me suis très-bien trouvé d'une

lampe à gaz à double courant d'air, ou d'une lampe modérateur ordinaire. La distance de la source au spectroscope était d'environ 1 mètre, et la lumière était concentrée sur la fente de l'appareil à l'aide d'une lentille de 15 à 20 centimètres de foyer.

Les solutions à examiner peuvent être placées dans des tubes à essai, ou mieux dans de petites fioles dites *cols droits,* de divers diamètres, qu'il faut avoir soin de choisir sans stries ni bulles. On pose ces fioles sur une petite tablette devant la fente verticale du spectroscope, de manière que les rayons lumineux réfractés viennent converger sur l'ouverture de l'instrument. Toutefois, il est préférable de se servir de petites cuves rectangulaires plus longues que larges, à glaces parallèles, ou bien de petits flacons de même forme (1) offrant, suivant leurs dimensions opposées, des épaisseurs que l'on peut faire varier à volonté en obliquant plus ou moins la longue face de la cuve, ou du flacon, par rapport au rayon incident.

Dans le spectre d'une teinture alcoolique de chlorophylle convenablement diluée, on distingue six raies ou bandes sombres se détachant plus ou moins sur les couleurs voisines. L'une de ces bandes apparait dans le rouge moyen, la seconde dans le rouge voisin de l'orangé, une autre entre le jaune et le vert, la quatrième au milieu du vert, et les deux autres dans le bleu. Ces dernières sont en général très-pâles et difficiles à discerner; il en est de même de la troisième, de telle sorte que, la plupart du temps, l'observateur n'a à tenir compte que des deux premières et de la quatrième. On comprend dès lors combien serait vague et incertain le caractère spectroscopique de la chlorophylle, si la réunion de toutes ces bandes était nécessaire pour préciser la substance. Il n'en est rien heureusement : la première bande suffit (toutes les autres sont celles que j'ai appelées *surnuméraires*), et constitue, pour la chlorophylle, une propriété spécifique dont je résume les qualités par les trois mots : *sensibilité, sûreté, généralité.*

1° Cette bande, en effet, peut varier de largeur, mais elle possède toujours une teinte foncée et des contours nets et bien dessinés,

---

(1) Ces petits flacons ont trois grandeurs différentes et ont été faits, sur mes indications, à la cristallerie de Baccarat. Ils sont très-commodes pour des observations de cette nature, et je ne saurais trop en recommander l'emploi.

elle ne s'écarte guère de 20 à 22 degrés du micromètre, réglé comme il a été dit. Elle apparaît encore lorsqu'on étend la dissolution, alors que toutes les autres bandes d'absorption ont depuis longtemps disparu. Je me suis assuré, à l'aide de dosages très-exacts, que de l'alcool contenant moins de $\frac{1}{10000}$ de chlorophylle laissait encore apercevoir cette bande dans le rouge d'une façon non équivoque et toujours à la même place. Les tubes en verre à obturateurs parallèles de l'appareil de polarisation de Biot sont d'un usage fort commode pour augmenter la longueur de la colonne liquide soumise aux rayons lumineux, et peuvent permettre à un œil exercé de reculer plus encore la limite que je viens d'assigner.

2° La seconde qualité de cette bande d'absorption, c'est-à-dire la *sûreté* de son indication, consiste dans le dédoublement dont elle est l'objet sous l'influence des alcalis (¹).

On peut arriver à ce résultat, soit en faisant bouillir une dissolution alcoolique de chlorophylle avec un petit fragment de potasse, soit, et mieux encore, en traitant directement la matière verte des feuilles par de l'eau à l'ébullition contenant $\frac{1}{100}$ de potasse.

En reprenant par l'alcool les feuilles qui surnagent la dissolution aqueuse, on reconnait, sur la teinture verte ainsi obtenue, un dédoublement très-net de la bande spécifique.

La réaction en question réussit à merveille, non-seulement avec des feuilles récemment cueillies, mais encore à l'aide de feuilles sèches, en un mot avec toute chlorophylle ayant subi l'action du temps, de l'air ou des acides, ou celle qui se trouverait accidentellement mélangée à divers produits. Si j'ajoute que ni les raies du sang, ni les raies de la bile, ni celles d'aucun liquide organique ne présentent des propriétés analogues, j'aurai suffisamment démontré la sûreté du caractère dont il s'agit ici.

3° En dernier lieu, j'ai dit qu'une troisième propriété de cette bande était sa *généralité,* c'est-à-dire qu'elle se retrouve toujours et partout où existe de la chlorophylle. En effet, le mélange d'une

(¹) Le même dédoublement par les alcalis peut se produire à froid sous l'influence de la lumière et plus lentement dans l'obscurité. C'est à cette propriété que les olives doivent l'apparition d'une double raie noire dans le rouge lorsqu'on examine le spectre de leurs dissolutions alcooliques. On sait, en effet, que les olives destinées à l'usage de nos tables sont maintenues pendant quelque temps dans une saumure alcalinisée qui corrige la saveur amère et désagréable qu'elles ont naturellement.

ou plusieurs matières de couleurs différentes ne met nullement obstacle à l'apparition de la raie noire spécifique. C'est ainsi que les teintures jaunes de safran, de curcuma, qu'une solution rouge de fuchsine, que celle de tournesol, additionnées d'une certaine quantité de chlorophylle alcoolisée, laissent apparaître immédiatement, au milieu du rouge, le trait noir caractéristique de cette couleur, tandis que les bandes des autres couleurs peuvent être plus ou moins dissimulées.

Un mélange de deux dissolutions étendues, l'une de sang ou de bile, l'autre de chlorophylle, permet encore d'apercevoir, sans s'y méprendre, quelques-unes des raies spécifiques de ces différentes substances et d'en reconnaître les propriétés spéciales.

La chlorophylle, si facile à modifier au point de vue organique, quand on envisage les fonctions qu'elle est appelée à remplir dans le règne végétal, jouit, au contraire, d'une fixité remarquable, si l'on en considère seulement les propriétés spectroscopiques.

Sans doute, les agents d'oxydation, tels que l'ozone, l'eau oxygénée, le chlore, la détruisent immédiatement et sans retour. Les acides, au contraire, faibles ou concentrés, l'iode, le travail digestif, laissent aux bandes d'absorption et surtout à la raie spécifique une persistance et une netteté sur lesquelles je ne saurais trop insister.

Le mélange d'un sel métallique avec la chlorophylle permet encore d'apercevoir, pendant quelques instants, les raies caractéristiques de cette dernière, mais la liqueur ne tarde pas à se troubler, par suite de la précipitation de la chlorophylle, et, après filtration, le liquide ne donne plus de bandes.

Dissoute dans l'alcool, elle est, en très-peu d'instants, détruite par l'action de la lumière, tandis qu'en dissolution dans les huiles grasses ou minérales elle possède une inaltérabilité fort remarquable, dont il est facile de saisir l'importance pour l'explication de certains phénomènes de Physiologie végétale.

II. *États divers de la chlorophylle reconnus à l'aide du spectroscope.* — La chlorophylle se manifeste dans les végétaux sous divers états qui peuvent être parfaitement reconnus au spectroscope : sur les feuilles de récente formation ; sur les feuilles de dates plus anciennes, celles qui ont été séchées rapidement à l'ombre ; sur les

feuilles mortes détachées du végétal et qui ont subi l'action de l'air et de la lumière.

a. Sur les jeunes feuilles en voie d'épanouissement, l'instabilité des éléments de la chlorophylle est fort grande et se reconnaît à l'apparition de *bandes accidentelles temporaires* sous l'action d'une goutte d'acide chlorhydrique. Ces bandes très-fines, au nombre d'une ou deux, précèdent la raie spécifique dans la partie extrême du rouge et disparaissent au bout de fort peu de temps.

b. Dans le second cas, le même acide fait naître, au sein de la dissolution alcoolique, un tout autre système de bandes que je nomme *surnuméraires* ou *bandes accidentelles permanentes*. Elles sont au nombre de cinq : on les obtient bien isolées et fort belles à l'aide de la liqueur résultant de l'agitation de la teinture altérée avec l'essence de pétrole. Les deux dernières bandes, celles du bleu, seraient dues à la matière jaune de la chlorophylle, au *phylloxanthine;* les premières seraient produites par la *phyllocyanine*.

c. Dans la dissolution alcoolique de feuilles desséchées à la lumière, ou bien dans celles de chlorophylle fraîche qui ont subi à la longue une certaine altération, les bandes accidentelles permanentes, identiques à celles que nous venons d'indiquer, se présentent immédiatement sans intervention d'acide chlorhydrique.

La matière colorante qui accompagne la chlorophylle dans certaines plantes (*betterave rouge, noisetier rouge, hypericum perforatum*), peut masquer plus ou moins les raies surnuméraires indiquées plus haut, mais elle n'apporte aucun obstacle à l'apparition de la raie spécifique qui se montre toujours à sa place habituelle et avec les caractères qui lui sont propres. La teinture alcoolique d'*hypericum perforatum* donne une fort belle image constituée par la superposition de deux spectres, celui de la chlorophylle et celui de la matière résineuse rouge de la plante.

Un fait que je ne puis omettre de signaler est l'influence exercée par le dissolvant sur les apparences spectrales de la chlorophylle. C'est ainsi que, selon le degré de neutralité, d'acidité ou d'alcalinité de la dissolution, on obtient des spectres complétement distincts les uns des autres. J'ai reconnu, de plus, que les agents sulfurés (*sulfhydrate d'ammoniaque, sulfure de carbone*) exerçaient de leur côté une action très-sensible, mais parfois lente à se produire. Dans le rouge extrême, une bande surnuméraire très-fine et nettement

détachée de la bande spécifique, apparait à côté de cette dernière. Cette particularité doit être notée, eu égard aux applications dont la recherche de la chlorophylle peut être l'objet dans les matières excrémentitielles, ainsi que je vais l'indiquer.

III. *La chlorophylle dans les produits de la digestion. — Applications.* — Grâce à la sensibilité, à la sûreté et à la généralité du procédé spectral, j'ai pu retrouver aisément la chlorophylle dans les résidus de la digestion et m'assurer, par la simultanéité de ses divers caractères, qu'elle n'avait éprouvé ainsi d'autre altération que celle que le temps ou les acides lui font ordinairement subir.

On comprend dès lors tout le parti que le physiologiste ou le médecin devra, dans certains cas, tirer de phénomènes de cette nature.

La toxicologie, la médecine légale, pourront, elles aussi, invoquer les caractères optiques de la chlorophylle pour éclairer certaines questions avant que les forces chimiques n'interviennent et ne désorganisent les produits à analyser.

Un autre résultat, non moins intéressant, mérite également d'être signalé ici, c'est le fait du peu d'altérabilité de la chlorophylle soustraite à l'action de l'air et de l'humidité. Ainsi une teinture, obtenue avec des cantharides conservées depuis trente ans dans un droguier, offre des caractères optiques tout à fait analogues à ceux d'une liqueur préparée avec des cantharides récentes.

D'un autre côté, la lumière, dont l'action décolorante est si énergique sur les teintures alcooliques, ne produit qu'un effet très-lent et pour ainsi dire insensible sur les dissolutions huileuses de chlorophylle. Pour s'en convaincre, il suffit d'exposer au soleil, pendant quelques heures, deux flacons contenant, l'un de la teinture de belladone par exemple, l'autre de l'huile de la même plante : la première perd rapidement sa couleur, en même temps que ses propriétés spectrales ; la seconde, au contraire, conserve sa teinte verte et continue à jouer le même rôle à l'égard du prisme. Ce fait est d'autant plus intéressant qu'il permet de se rendre compte comment la matière verte de certaines plantes à feuilles dites *persistantes* peut demeurer intacte dans l'arrière-saison, à la faveur des matières grasses ou résineuses contenues dans le tissu végétal.

Toutes ces recherches comporteraient bien d'autres détails, dans

lesquels je ne puis entrer ici et qui sont consignés dans une publication spéciale qui vient de recevoir sa troisième édition (1), le but de cette communication étant surtout de faire ressortir les utiles applications que l'on peut immédiatement et rigoureusement tirer de ces curieux phénomènes.

Nouveau manomètre destiné à mesurer les hautes pressions; par M. L. CAILLETET.

Dans les nombreuses recherches que j'ai faites sur les pressions élevées, j'ai pu constater combien l'exactitude des indications fournies par les divers manomètres que j'ai expérimentés laissait à désirer.

Dans l'impossibilité où j'étais d'établir un manomètre à air libre pour mesurer des pressions de 800 ou 900 atmosphères, ce qui aurait exigé un tube vertical de plus de 600 mètres, et ne pouvant me fier aux indications fournies par les manomètres dont je disposais, j'ai dû interrompre mes expériences sur la compressibilité des gaz, expériences qui exigeaient la détermination exacte des pressions auxquelles j'opérais. Mais, en étudiant récemment les déformations que subit un réservoir cylindrique en verre lorsqu'on le comprime sur ses parois extérieures, j'ai constaté que la diminution du volume de cette enveloppe est exactement proportionnelle à la pression exercée.

Les expériences que j'ai faites en employant des enveloppes de verre de diverse nature et que j'ai poussées jusqu'à l'écrasement du cylindre démontrent que la diminution du volume du réservoir reste proportionnelle à la pression, jusqu'à un point voisin de la rupture, et que de plus le verre ne subit pas de déformation permanente. Le manomètre qui fait l'objet de cette Note, et que j'emploie dans mes recherches actuelles, est basé sur les propriétés que je viens de rapporter. Sa construction est d'une grande simplicité.

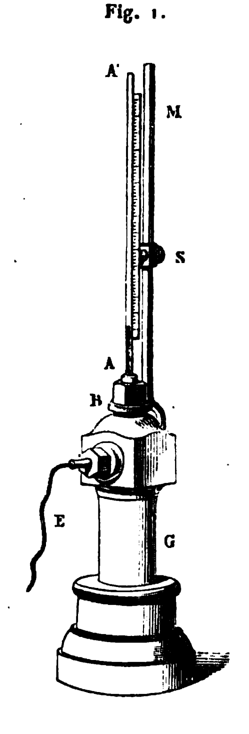
---

(1) J. CHAUTARD, *les Spectres de la chlorophylle et leurs applications à la Chimie, à la Physiologie, à la Toxicologie.* 1 vol. in-8°, nouvelle édition refondue. Berger-Levrault, Nancy, 1875, 3 planches renfermant 16 spectres chromolithographiés.

Il se compose d'une sorte de thermomètre de verre (*fig.* 1), dont le réservoir cylindrique, fermé par des calottes sphériques, est rempli d'un liquide coloré quelconque ou mieux encore de mercure. Le tube capillaire AA', exactement calibré, qui est soudé au réservoir, porte un renflement destiné à le fixer, au moyen de gutta-percha, dans un ajutage de cuivre. Ainsi disposé, cet ajutage ferme hermétiquement, au moyen de la vis B, l'orifice d'un tube d'acier G faisant fonction de réservoir et pouvant résister aux plus hautes pressions qu'on doit mesurer.

Le liquide envoyé par l'appareil compresseur arrive dans le réservoir G par le tube fin en cuivre E. Lorsque la pression s'exerce sur les parois du cylindre de verre, le liquide déplacé par la dimi-

Fig. 1.



nution du volume du réservoir s'élève dans le tube capillaire à des hauteurs correspondant à des pressions qui sont déterminées pour chaque appareil à l'aide d'une graduation préalable.

Il est indispensable de maintenir fixe la température de l'appareil pendant les expériences de longue durée. Cela est facile ; on le plonge soit dans de la glace fondante, soit dans de l'eau à température constante. Dans les déterminations rapides, ces précautions sont même inutiles : il faut s'assurer seulement, avant de donner la pression, que le niveau du liquide dans le tube capillaire coïncide bien avec l'origine de la graduation de l'échelle divisée. Si la coïncidence n'était pas complète, on l'établirait en faisant glisser la règle sur la tige M, au moyen du bouton à vis S.

On comprend que la sensibilité des manomètres construits sur ce principe peut être aussi grande qu'on le désire, puisque, pour la faire varier, il suffit de modifier les rapports des dimensions du réservoir et du tube capillaire.

Grâce à l'obligeance de M. Mascart, j'ai pu comparer les indications de mon appareil avec celles du manomètre à air libre du Collége de France et m'assurer que le liquide déplacé par la diminution de l'enveloppe de verre s'élève à des hauteurs qui sont exactement proportionnelles aux pressions exercées sur ses parois. En effet, il doit en être ainsi, car si l'on prend pour abscisses les pressions et pour ordonnées les volumes du piézomètre, la compressibilité du verre étant très-petite, ce volume varie peu ; de sorte que, pour des pressions p et p' très-différentes, les volumes v et v' diffèrent fort peu ; par conséquent la courbe, quelle qu'elle soit, diffère très-peu d'une ligne droite. Il résulte de là que la diminution du volume du réservoir doit être proportionnelle à l'accroissement de la pression, et cela dans des limites très-étendues, *pourvu que le volume varie peu.* Cette démonstration, que je dois à M. Moutier, me semble à l'abri de toute critique et me fait espérer que le manomètre, très-simple, que je viens de décrire, pourra rendre de nombreux services à la Science et à l'Industrie.

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès verbal de la séance du 4 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société : MM. Mathew Gray, directeur de l'usine de l'Indian Rubber, gutta-percha et telegraph, Works C°, à Londres ; Robert Kay Gray, ingénieur de l'usine de l'Indian Rubber, gutta-percha et telegraph, Works C°, à Londres; John Muirhead, fabricant d'appareils électriques, à Londres; Pitanga Epifanio, professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro; Rameaux, professeur à la Faculté de Nancy; Roland, à l'Ile de la Réunion; Simonstre, professeur au grand séminaire de Nancy; Spottiswoode, vice-président de la Société Royale de Londres.

M. Cornu entretient la Société de la formation de réseaux qui, exposés à des ondes planes, produisent, par le concours de rayons diffractés, une ligne lumineuse de forme donnée plane ou gauche.

Pour qu'un système de fentes étroites exposées à une onde plane donne des ondes diffractées concourant en un foyer, il faut que la forme de ces fentes soit telle que les normales aux divers éléments passent par ce foyer, et de plus que les différences de marche soient égales à un nombre entier de longueurs d'ondulations. On déduit de là que la différence des carrés des distances mesurées de l'un des éléments au pied de la perpendiculaire abaissée du point focal à chaque élément est sensiblement constante. Il en résulte que le foyer n'est pas unique et qu'il y en a autant que de couleurs et aussi autant qu'il y a d'unités dans le nombre qui exprime en longueur d'onde la différence de marche.

L'auteur montre que, dans le cas où la source lumineuse est un point, le système de lignes précédemment défini donne lieu à un foyer conjugué, et il donne la règle générale pour obtenir un réseau donnant une ligne focale d'une forme déterminée et en fait l'application aux cas particuliers les plus intéressants.

Il fait remarquer que les anneaux colorés satisfont précisément à la condition nécessaire pour que les réseaux aient un foyer, et il en déduit un moyen très-simple de réaliser les réseaux en photographiant des systèmes d'anneaux colorés correspondants. Il montre que, grâce à l'épaisseur des anneaux colorés, les réseaux que l'on obtient en les photographiant n'ont qu'un seul système focal, et il fait voir comment on peut utiliser la détermination de la position de ce foyer dans l'étude des déformations des lames élastiques.

M. Mercadier fait connaître les recherches qu'il a entreprises

pour trouver une relation entre le nombre des vibrations produites par un diapason et les constantes caractéristiques de l'instrument. Les vibrations entretenues par un électro-aimant étaient enregistrées par un style sur un cylindre tournant.

M. Jamin présente à la Société des aimants primitivement identiques, dont l'un a été dissous dans un acide, de manière que son épaisseur soit réduite aux deux tiers de la valeur primitive, et qui a perdu ainsi la presque totalité de son magnétisme.

Il fait voir aussi un aimant trempé dans des conditions déterminées et qui résiste à l'action magnétisante des plus forts électro-aimants. Enfin il appelle l'attention de la Société sur les qualités de l'acier dont sont formés les aimants de Harlem.

Le conseil propose d'introduire les modifications suivantes aux statuts.

Article nouveau. — Les statuts ne pourront être modifiés qu'après deux délibérations du Conseil. Les modifications devront être annoncées un mois d'avance à la Société et seront votées à la séance générale de Pâques.

Ajouter a l'Art. 3. — Le nombre total des membres honoraires sera de dix au plus.

Sur les lois du mouvement vibratoire des diapasons; par M. A. Mercadier.

Je me suis occupé de l'étude des vibrations des diapasons en acier. Je leur donne une forme prismatique, c'est-à-dire une section rectangulaire constante, et je suppose que cette forme se continue même dans la partie courbe, où les branches parallèles sont raccordées par un demi-cylindre au milieu duquel se trouve la tige, forgée en même temps que les branches, et nullement rapportée après coup. J'appelle *épaisseur* de l'instrument la dimension parallèle aux vibrations et *largeur* la dimension qui leur est perpendiculaire.

I. *Variation de la largeur.* — On place un diapason sur un support muni d'un électro-aimant et d'un interrupteur destiné à entretenir électriquement les vibrations du diapason à l'état de régime permanent, et à côté d'un autre électro-aimant dont la palette, armée d'un style, reproduit les battements d'une horloge à secondes. On enregistre ces battements et les vibrations du diapason sur un cylindre tournant recouvert de papier enfumé. On obtient ainsi à $\frac{1}{1000}$ près au moins, ainsi que je l'ai montré précédemment (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* t. LXXVI, p. 1256), le nombre de périodes par seconde du diapason. On recommence l'expérience dans des conditions identiques, après avoir limé le diapason des deux côtés, en lui laissant partout une nouvelle largeur constante, et ainsi de suite.

Voici un exemple des résultats qu'on obtient en opérant ainsi :

Largeurs du diapason. . . .	35,3 mm	30,90 mm	24,8 mm
Nombres de périodes	144,7	144,7	144,9

On voit que la variation du nombre des périodes est insignifiante, bien qu'on ait diminué la largeur du tiers et réduit ainsi le poids de l'instrument de 1550 à 1100 grammes.

On peut donc en conclure, ce qu'il était naturel de penser, que *la variation de la largeur d'un diapason prismatique, toutes choses égales d'ailleurs, n'a pas d'influence sensible sur le nombre de ses vibrations.*

II. *Variation de l'épaisseur.* — Si l'on fait les mêmes expériences en diminuant successivement l'épaisseur sans toucher aux autres dimensions et en ayant bien soin que ces épaisseurs soient constantes en tous les points, on reconnait que le nombre des vibrations change beaucoup.

Voici un tableau des résultats obtenus avec un diapason de 30 centimètres de longueur environ :

Épaisseurs	10,25 mm	9,25 mm	8,58 mm	7,70 mm	6,02 mm	4,37 mm
Nomb. de périodes.	87,98	81,18	74,32	67,43	54,88	40,00

Si l'on construit une courbe dont les abscisses représentent

les épaisseurs, et les ordonnées les nombres de périodes, en remarquant d'ailleurs que l'origine doit être un point de la courbe, on voit que cette courbe ne diffère pas sensiblement d'une ligne droite.

Donc *le nombre des vibrations d'un diapason prismatique est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à son épaisseur.*

III. *Variation de la longueur.*— Les deux branches d'un diapason ont des mouvements identiques : il ne s'agit donc que de la longueur d'une branche; mais comment définir cette longueur? Est-ce la projection l sur l'axe de l'instrument de la ligne médiane de la branche, ou bien sa longueur L *rectifiée?* J'ai considéré ces deux longueurs simultanément; j'ai déterminé pour chacune d'elles le produit de son carré par le nombre des périodes, en réduisant successivement un long diapason de 30 centimètres à 6 centimètres environ. Voici le tableau des résultats obtenus dans treize expériences consécutives :

Longueurs (l)	Nombre (n) de périodes par seconde.	nl^2	nL^2
mm 295,4	40,00	3485720	3767480
275,2	45,95	3480023	3782236
255,7	53,24	3481937	3806819
216,2	74,11	3464050	3847567
196,1	89,80	3453259	3877654
176,5	110,25	3434508	3904945
156,5	139,54	3417614	3947726
136,2	182,62	3387601	3994630
116,4	247,05	3350245	4057055
96,6	354,54	3308567	4158400
86,4	438,07	3274135	4219928
76,4	549,37	3231944	4293327
57,0	974,00	3142124	4570008

Il résulte de l'examen de ce tableau que les produits nl^2 et nL^2 ne sont pas constants; ils varient d'une manière continue : l'un décroît, l'autre croît; mais la variation de nL^2 est deux fois plus rapide que celle de nl^2. Considérons donc ce dernier.

On voit qu'on peut couper un tiers du diapason sans que l'erreur qui consiste à admettre que nl^2 est constant dépasse 0,01 : en coupant le second tiers, cette erreur n'arrive qu'à 0,03 environ; à partir de ce moment, elle arrive assez rapidement à 0,1; mais il faut considérer qu'alors, si l'on a en vue l'assimilation d'un diapason à une verge droite, l'influence de la partie courbe sur la partie droite augmente rapidement.

On peut déjà conclure de cela, au point de vue pratique, qu'un diapason étant donné, dépassant 10 centimètres de longueur, si l'on veut diminuer sa période d'une petite quantité, on peut parfaitement admettre que le nombre des vibrations varie en raison inverse du carré de la longueur, et calculer *a priori*, en conséquence, la longueur du diapason à couper pour obtenir la diminution de période que l'on veut.

Mais on peut chercher à diminuer cette restriction en augmentant en même temps l'approximation que donnerait cette loi. A cet effet, déterminons la longueur y qu'il faut ajouter à l pour que les deux produits $n(l+y)^2$, relatifs à la treizième et à la première expérience, soient égaux. Il suffit de poser

$$n'(l'+y)^2 = n(l+y)^2,$$

équation dans laquelle

$$n' = 974, \quad n = 40, \quad l' = 57,0, \quad l = 295,4.$$

En résolvant cette équation, on trouve $y = 3^{mm},8$. Ainsi il suffit d'ajouter à chaque valeur de l cette petite longueur de $3^{mm},8$, qui n'est que les 0,012 environ de la longueur totale du diapason, pour que les produits $n(l+y)^2$ soient constants; ils sont alors égaux à 3 576 040.

On peut conclure de ce qui précède que *le nombre des vibrations d'un diapason prismatique est, toutes choses égales d'ailleurs, en raison inverse du carré de la longueur,* en prenant pour longueur la projection sur l'axe de la ligne médiane d'une branche augmentée d'une petite longueur auxiliaire, qui ne dépasse pas le 0,01 de la longueur totale, et qu'on peut négliger quand il s'agit de diapasons dont la longueur dépasse 12 à 15 centimètres.

On a donc, pour représenter les lois du mouvement des dia-

pasons prismatiques, la formule suivante, semblable à celle qui se rapporte au mouvement des verges élastiques droites :

$$n = k \frac{e}{(l+y)^2} \quad \text{ou} \quad n = k \frac{e}{(1,012\,l)^2},$$

n étant le nombre de périodes, e l'épaisseur, l et y les longueurs précédemment indiquées, k une constante qu'on peut déterminer à l'aide d'une expérience quelconque.

Pour les diapasons en acier, j'ai trouvé $k = 818270$.

Le coefficient qui affecte la valeur de l est purement empirique. Il paraît difficile de le déterminer autrement que par l'expérience. On ne doit pas s'attendre d'ailleurs à obtenir dans les applications de la formule une grande précision, en songeant à la complexité du système représenté par un diapason, aux différences que peuvent présenter deux diapasons en apparence identiques, par suite des différences dans la qualité de l'acier, dans la façon dont ils sont recourbés, forgés, trempés. On ne s'étonnera donc pas de trouver, entre les valeurs de n observées et les valeurs calculées d'après la formule ci-dessus, des divergences sensibles.

Voici les résultats obtenus pour trois diapasons d'épaisseurs et de largeurs différentes :

DIAPASONS.	e	$1,012\,l$	n		DIFFÉRENCES.	ERREURS relatives moyennes.
			calculé.	observé.		
	mm	mm				
N° 1..........	10,2	238,73	146,4	144,7	— 1,7	0,011
N° 2..........	7,0	269,2	79,0	77,7	— 1,3	0,016
N° 3..........	3,75	325,5	29,0	29,7	+ 0,7	0,023

Il y a là des erreurs relatives, variant de 1 à 2 pour 100, qui ne paraîtront pas considérables, je pense, si l'on a égard aux observations précédentes, et qui, d'ailleurs, n'ont pas d'importance au point de vue pratique de la construction des diapasons. En ce cas, en effet, il suffit parfaitement de pouvoir calculer *a priori* les dimensions à donner à un instrument pour qu'il ait, à 1 ou 2 pour 100 près, le nombre de périodes par seconde que l'on veut.

IV. Pour comparer les résultats ainsi obtenus expérimentalement à ceux que peut donner la théorie mathématique de l'élasticité, considérons une verge prismatique droite de longueur l et d'épaisseur ε. La théorie donne, pour le nombre n' de vibrations d'un pareil corps,

$$n' = \frac{\lambda a \varepsilon}{2\pi\sqrt{3}\, l^2},$$

a étant la vitesse du son dans la lame élastique considérée et λ étant une racine positive de l'équation

$$(e^{ml} + e^{-ml}) \cos ml + 2 = 0,$$

les valeurs diverses de ml correspondant aux harmoniques successifs de la lame. En résolvant cette équation par approximations successives, on trouve [1], pour la valeur de la première racine relative au son fondamental,

$$\lambda = 1{,}87011.$$

On en conclut

$$n' = \frac{(1{,}87011)^2 a \varepsilon}{2\pi\sqrt{3}\, l^2},$$

et, pour la valeur du coefficient k mentionné ci-dessus,

$$k = \frac{(1{,}87011)^2 a}{2\pi\sqrt{3}}.$$

Mais, pour appliquer ces formules au cas d'un diapason, l doit être remplacé par $1{,}012\, l$ et par suite λ par $1{,}012\, \lambda$, c'est-à-dire $1{,}89255$.

De plus, n' représente le nombre de *vibrations* de la verge par seconde; pour avoir le nombre de *périodes* n que nous avons considéré, il faut prendre la moitié des valeurs précédentes.

Il en résulte définitivement

$$k = \frac{(1{,}89255)^2 a}{2\pi\sqrt{3}}, \quad n = k \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{(1{,}012\, l)^2}.$$

---

(1) POISSON, *Mécanique*, t. II, p. 390.

En prenant pour la vitesse du son dans l'acier le nombre donné par Wertheim et se reportant à la valeur ci-dessus de k déduite de l'expérience, on a

$$a = 4985^{m}, \quad k \left\{ \begin{array}{l} \text{calculé.....} \quad 820131 \\ \text{observé....} \quad 818270 \end{array} \right\}.$$

Différence entre les deux valeurs, 1861; erreur relative moyenne, $\frac{1861}{819200} = 0,002$ environ.

La concordance est donc complète entre les résultats de l'observation et ceux de la théorie.

V. *Variation de l'amplitude.* — Lorsqu'on veut employer un diapason entretenu électriquement à produire des interruptions de courants parfaitement égales, ou à exécuter un petit travail mécanique, ou enfin à produire des figures acoustiques qu'on veut projeter, on est forcé de lui donner d'assez grandes amplitudes. Il y a lieu de se demander alors si l'*isochronisme* des vibrations que suppose la formule mathématique et que j'ai démontré expérimentalement (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXVI, p. 1256), quand on ne dépasse pas 2 ou 3 millimètres d'amplitude, existe encore.

On peut employer trois procédés pour faire cette étude.

1° Le premier procédé consiste à donner à l'électrodiapason en expérience des amplitudes de moins en moins grandes, en maintenant chacune d'elles constante pendant dix ou vingt secondes. On enregistre chaque fois les vibrations sur le cylindre tournant, ainsi que les battements de la palette de l'électro-aimant qui bat la seconde.

D'ailleurs, pour pouvoir mesurer facilement et exactement l'amplitude, on ralentit le mouvement du cylindre au commencement et à la fin de l'expérience, afin que le style du diapason décrive une courbe à spires si serrées qu'elles ressemblent à des hachures contiguës.

Parmi les nombreuses séries d'expériences que j'ai faites, je donnerai comme type le tableau suivant; tous les autres donnent des résultats analogues :

Amplitudes	9,0 mm	5,6 mm	5,2 mm	4,6 mm	2,6 mm	1,5 mm
Nombre de périodes par seconde.....	27,89	27,91	27,915	27,92	27,92	27,92

On voit nettement par ce tableau que le nombre de périodes augmente pendant que l'amplitude décroît depuis 9 millimètres jusque vers 5 millimètres ou $4^{mm},5$; à partir de ce moment, ce nombre se maintient constant. La variation est très-faible : elle ne porte que sur le quatrième chiffre. Elle s'élève au maximum à 0,03; en la rapportant à la moyenne des valeurs extrêmes 27, 89 et 27, 92, on obtient $\frac{0,03}{27,90}$ ou $\frac{3}{2790} = \frac{1}{930}$, variation très-petite, mais néanmoins incontestable.

2° Le second procédé expérimental consiste à donner au diapason l'amplitude maximum possible, puis à supprimer brusquement l'entretien électrique du mouvement en interrompant le courant de la pile. Le diapason vibre alors uniquement en vertu de son élasticité; son amplitude décroît graduellement depuis la valeur maximum qu'on lui a donnée jusqu'à zéro.

On mesure sur les graphiques les nombres de vibrations par seconde correspondant à 2, 4, 6,..., 10,..., 20,... secondes successives. Si la grandeur de l'amplitude n'avait pas d'influence sur la durée de la période, tous les nombres ainsi obtenus devraient être égaux. Or il n'en est rien; ils sont graduellement croissants jusqu'à une certaine limite, ainsi que le montre la série suivante, prise comme exemple :

Nombre de secondes	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Nombre de périodes par seconde.	27,82	27,825	27,83	27,83	27,83	27,83	27,83	27,835	27,833	27,835
Nombre de secondes	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Nombre de périodes par seconde	27,835	27,833	27,835	27,84	27,84	27,84	27,84	27,84	27,84	27,84

On a ici une variation du nombre de périodes de même sens que celle que le tableau précédent met en évidence. Elle est de $\frac{2}{2780} = \frac{1}{1390}$ environ, plus petite que la précédente, mais l'amplitude au départ était aussi plus petite, $7^{mm},50$. On voit encore que le nombre de périodes tend vers une limite constante, qui est ici 27,84, et qui est atteinte dès que l'amplitude arrive à 3 millimètres environ.

3° Enfin on peut employer un procédé optique qui consiste à produire avec deux diapasons semblables armés de miroirs une figure acoustique, l'ellipse qui caractérise l'unisson par exemple. On les désaccorde légèrement, de façon que l'ellipse se déforme graduellement en passant par toutes ses variétés successives. Appelons *durée de la période de déformation* le temps mis par la courbe à repasser dans le même sens par l'une de ses variétés, par exemple par l'une des diagonales du rectangle circonscrit.

On pointe électriquement sur un cylindre tournant tous les passages de la courbe à cette diagonale, de façon à pouvoir ensuite relever sur le graphique les durées de chaque période de déformation.

Cela posé, maintenant constante l'amplitude de l'un des diapasons, on donne à l'autre une amplitude aussi grande que possible et on la laisse ensuite décroître graduellement.

Si l'amplitude n'avait pas d'influence sur l'isochronisme, la durée des périodes de déformation devrait rester constante. Le tableau suivant, qui est le relevé d'une expérience, montre qu'il n'en est rien : l'amplitude y a varié de 8 millimètres à zéro.

Nos des périodes de déformation	1re	2e	3e	4e	5e	...	12e	...	15e	...
Durée de ces périodes en secondes	5,54	5,55	5,54	5,55	5,55	...	5,56	...	5,58	...

De la quinzième période à la cinquantième, la durée reste égale à $5^s,58$.

Cette méthode d'observation conduit donc au même résultat que les précédentes.

On doit donc conclure de ce qui précède : 1° *que la durée de la période du mouvement vibratoire des diapasons augmente ou diminue avec l'amplitude;* 2° *que cette variation, même par des amplitudes considérables de 1 centimètre, est très-faible et ne porte que sur le quatrième chiffre;* 3° *que, si l'on ne dépasse pas une certaine limite qu'on peut fixer à 4 millimètres, on peut regarder la durée de la période comme constante.*

Cette dernière loi vient donc confirmer la conclusion pratique que j'avais déduite d'études précédentes.

La théorie mathématique de l'élasticité indique que les vibrations d'un diapason doivent être *isochrones;* mais les résultats ci-dessus ne sont qu'en apparence en contradiction avec les indications de la théorie. En effet, la théorie repose sur deux hypothèses : on admet : 1° *que les vibrations sont rectilignes;* 2° *que leur amplitude est très-petite.* Or, si ces deux hypothèses peuvent être regardées comme très-suffisamment satisfaites quand l'amplitude ne dépasse pas 3 ou 4 millimètres, il n'en est pas de même évidemment quand elle dépasse cette limite, et surtout quand on arrive à des amplitudes de 7, 8, 9, 10 millimètres. Le désaccord, si faible d'ailleurs, entre l'expérience et la théorie n'est plus alors étonnant : c'est le contraire qui le serait.

VI. *Influence de la température sur la durée de la période.* — On a vu plus haut que le nombre de périodes par seconde d'un diapason dont la longueur dépasse 13 centimètres était représenté par la formule suivante, identique à celle que fournit la théorie de l'élasticité par les tiges élastiques :

$$n = k\frac{\varepsilon}{l^2}.$$

En remplaçant la vitesse du son a par $\sqrt{\frac{q}{d}}$, k, quantité constante pour un même diapason, est représentée par

$$k = \frac{(1{,}89255)^2\sqrt{q}}{2\pi\sqrt{3}\sqrt{d}},$$

q étant le coefficient d'élasticité de l'acier et d sa densité ; de telle

sorte que la valeur définitive de n est

$$n = \frac{1}{2} \frac{(1,892255)^2 \sqrt{q}}{2\pi \sqrt{3} \sqrt{d}} \frac{\varepsilon}{l^2}.$$

Lorsque la température de l'instrument varie, les dimensions ε et l de l'instrument varient suivant les lois connues de la dilatation : il en est de même de la densité d. Le coefficient d'élasticité q varie aussi, mais la loi de cette variation n'est pas connue ; on n'a sur ce sujet, au point de vue expérimental, que des expériences de Wertheim qui manquent certainement de précision et auxquelles on ne peut se fier sans réserve.

Dans ces conditions, je me suis d'abord occupé de chercher expérimentalement l'influence approximative de la température.

J'ai exposé un diapason dans une chambre ouverte, à une température assez basse ; j'ai ensuite fermé la chambre et l'ai chauffée graduellement, en inscrivant de temps en temps pendant dix secondes les vibrations de l'instrument, à une température constante indiquée par un bon thermomètre appliqué à l'une des branches.

Voici, par exemple, les résultats de quatre mesures :

Températures............	3°,5	10°,0	18°,0	26°,0
Nombre de périodes par sec.	27,90	27,89	27,86	27,84

Ainsi le nombre des périodes décroit à mesure que la température s'élève.

La variation est faible ; elle ne porte que sur le quatrième chiffre, comme celle qui résulte de la variation d'amplitude.

En admettant que le coefficient d'élasticité ne change pas avec la température, en se rappelant que l'épaisseur ε et la longueur l d'un diapason varient proportionnellement au binôme de dilatation linéaire de l'acier $(1 + \lambda t)$, que la densité d varie en raison inverse du binôme de dilatation cubique $(1 + \alpha t)$, et en exprimant que $\alpha = 3\lambda$, on peut calculer le rapport $\frac{n'}{n''}$ des nombres de périodes du diapason à deux températures t' et t''.

On trouve ainsi, toutes simplifications faites, en négligeant des termes qui contiennent λ^2,

$$n' = n''\left[1 + \tfrac{1}{2}\lambda(t'' - t')\right].$$

Cette formule montre bien que le nombre n', qui correspond à la température la plus basse, est plus grand que celui n'', qui correspond à la température la plus élevée, conformément à l'expérience.

Mais, si l'on fait le calcul pour les températures $t' = 3°,5$, $t'' = 26°$, en prenant pour λ la moyenne des valeurs trouvées par divers observateurs pour l'acier, et rapportées dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, $\lambda = 0,00001268$, on trouve que, si $n'' = 27,84$, valeur donnée par l'expérience,

$$n' = 27,84 \times 1,000141 = 27,8439\ldots,$$

de telle sorte que le quatrième chiffre n'est pas altéré.

La conclusion remarquable qui paraît ressortir de là, c'est que la variation dans le nombre de périodes qui se produit quand on fait varier la température est principalement due à l'influence de la température sur le coefficient d'élasticité que nous avions supposé constant dans les calculs ci-dessus.

RÉSUMÉ.

Il résulte de cette étude de l'influence de l'amplitude et de la température sur le mouvement vibratoire d'un diapason les conséquences suivantes :

L'isochronisme des vibrations d'un diapason n'est pas absolument rigoureux; la durée de sa période dépend de l'amplitude et de la température.

Au point de vue pratique de l'emploi d'un diapason comme chronographe ou interrupteur, *un instrument ne donnera des résultats absolument identiques à des époques différentes que si l'on opère à la même température, et si l'on donne aux vibrations la même amplitude.*

Si l'on n'a pas besoin d'une identité complète, et de grandes amplitudes, ce qui est le cas le plus ordinaire, *pourvu qu'on ne*

dépasse pas une amplitude de 3 à 4 millimètres et qu'on opère à des températures peu différentes, on est certain d'avoir le même nombre de périodes par seconde à 0,0001 près.

SÉANCE DU 3 MARS 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 février est lu et adopté.

Est élu membre de la Société : M. Ploix (Charles), ingénieur hydrographe de la Marine.

M. Jannettaz fait connaître les résultats de ses recherches sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés. Il a appliqué le procédé de Senarmont à l'étude d'un certain nombre de cristaux et particulièrement à l'étude des roches.

M. H. Becquerel décrit les expériences qu'il a entreprises pour découvrir une relation entre le pouvoir rotatoire magnétique des diverses substances et leur indice de réfraction.

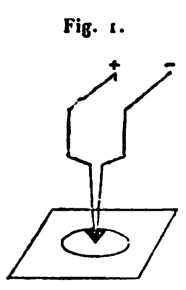
La séance est levée à 10 heures un quart.

De la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés; par M. Jannettaz.

I. Pour étudier la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés, j'ai employé la méthode de de Senarmont; mais, au lieu de percer d'un trou les corps soumis à l'observation, et de les échauffer au moyen d'une tige introduite dans ce trou, comme le faisait de Senarmont, j'applique à leur surface une petite sphère ou un petit cône tronqué de platine (*fig.* 1), auquel sont soudés deux fils fins de platine, mis eux-mêmes en communication avec les pôles d'une pile formée de 3 éléments à section rectangulaire.

La surface du corps a été, comme dans le procédé de de Senarmont, recouverte d'une matière fusible. En général, je préfère le saindoux fondu et passé au travers d'un linge fin; ordinairement je le colore en y mêlant des matières roses ou vertes, de nuances très-claires. La graisse fond autour de l'extrémité du petit cône de platine. Ici la chaleur est plus intense au point même où elle s'applique sur le corps, et de plus j'évite le forage des plaques.

Fig. 1.



On sait qu'après le refroidissement la matière grasse dessine des bourrelets qui ont la forme d'ellipses ou de cercles qu'on peut appeler *isothermes*. Les rayons vecteurs de ces courbes mesurent les distances auxquelles parvient, suivant leur direction, la température nécessaire à la fusion d'une même substance. Par ce moyen, de Senarmont avait pu vérifier, sur un certain nombre de matières minérales cristallisées, ce fait fondamental, que la chaleur se conforme, comme la lumière, à la symétrie générale de la cristallisation.

Grâce à l'appareil que j'ai imaginé, j'ai poursuivi ces recherches sur un beaucoup plus grand nombre de matières cristallisées; je les ai étendues aux matières à texture schisteuse.

II. De l'ensemble de mes expériences, j'ai pu déduire des relations plus générales que celles qui avaient été énoncées par de Senarmont, entre la structure des corps et leurs pouvoirs conducteurs, pour la chaleur dans les différentes directions. Ces relations peuvent se résumer ainsi :

Dans les minéraux, la chaleur se propage moins facilement dans la direction perpendiculaire à un plan de clivage que parallèlement à ce plan [1].

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XXIX, p. 68.

Dans les matières à texture schisteuse, la chaleur se propage moins facilement dans la direction normale que dans les directions parallèles aux feuillets [1].

Comme, entre les plans de clivage ou de schistosité, il y a moins de cohésion qu'entre d'autres directions planes, j'ai pu énoncer cette règle générale sous cette autre forme :

La chaleur se propage plus facilement entre les surfaces qui ont entre elles moins de cohésion.

J'ai montré de plus que les *plans de schistosité* se distinguent de ceux de *stratification* dans les roches en ce que ceux-ci n'exercent aucune influence sur la position des axes des courbes de fusion, tandis que les directions planes de schistosité déterminent l'orientation de ces axes, comme il a été dit plus haut.

Il en est de même dans les minéraux, où les plans de *séparation* produits par une sorte de stratification de cristaux déjà constitués se distinguent par leur inertie des plans de clivage qui agissent sur le mode de propagation de la chaleur [2].

III. Souvent il est difficile de trouver l'orientation des axes des ellipses thermiques par rapport à des lignes de repères indiquées naturellement ou tracées à la main sur les plans où l'on a produit ces courbes; aussi ai-je eu recours à l'emploi d'une lunette, dont j'ai exposé le principe dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* [3] et dont j'ai donné la description dans le *Bulletin de la Société géologique de France* [4].

Le principe consiste dans le dédoublement de la courbe au moyen d'un prisme biréfringent. Si l'on regarde une ellipse au travers d'un prisme de ce genre, on aperçoit deux images, deux courbes qui se superposent plus ou moins. Pour une position quelconque de la section principale du prisme, la droite qui joint les points d'intersection des deux images et celle qui joint leurs centres sont en général obliques, l'une par rapport à l'autre; elles deviennent rectangulaires lorsque la section principale du spath est

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXVIII (27 avril 1874) et t. LXXXI (20 décembre 1875).

(2) *Bull. de la Soc. géologique de France*, 3e série, t. III, p. 499.

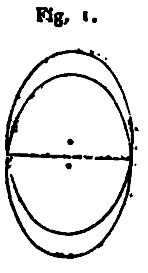
(3) *Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 413.

(4) *Bull. de la Soc.*, loco citato.

parallèle à l'un des axes de l'ellipse (*fig.* 2). On regarde donc l'ellipse au travers d'un prisme réfringent. Ce prisme est placé devant l'oculaire d'une lunette et, perpendiculairement à sa section principale, on peut promener un fil au foyer de l'oculaire. Ce prisme enfin tourne devant l'oculaire et emporte un index, qui marque sa position par rapport à un cercle divisé perpendiculaire à l'axe de la rotation. On note la division où s'arrête l'index, lorsque le fil passe par les points d'intersection des deux images de la courbe. Soit α° cette division.

Si l'on regarde, de même, une ligne du plan de la courbe

Fig. 1.



au travers d'un prisme, on en voit en général deux images; mais, lorsque la section principale du prisme est parallèle à cette ligne, les deux images de la ligne se superposent; on note la division où s'arrête l'index, lorsque cette superposition a lieu. Soit β° cette division. $\alpha^{\circ} - \beta^{\circ}$ fait connaître la distance angulaire de l'axe de la courbe et de la ligne choisie dans le plan de cette courbe.

Cette lunette a été construite, d'après mes données, par M. Laurent. Le prisme biréfringent qui s'y trouve employé a été imaginé par M. Soleil; il permet d'augmenter ou de diminuer, à volonté, la distance des centres des images, sans altérer la longueur de leurs axes parallèles à la direction de la section principale du spath.

SÉANCE DU 17 MARS 1876.

PRÉSIDENCE DE M. BOURGET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société: MM. Cousté, directeur de la Manufacture des Tabacs; l'abbé Garé, professeur de physique à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

M. Mercadier fait fonctionner les diapasons dont le mouvement vibratoire est entretenu électriquement à l'aide d'un électro-aimant disposé entre les branches de chaque diapason.

En associant deux diapasons de ce genre, munis de miroirs et agissant sur l'un d'eux seulement, l'auteur montre qu'on réalise avec une grande perfection les courbes caractéristiques de l'unisson de l'octave, de la quinte, etc., et fixe ces courbes à la forme qui correspond à telle différence de phase que l'on veut.

M. F. Tommasi fait connaître le moyen qu'il a imaginé d'utiliser la chaleur provenant de la vapeur perdue des machines ordinaires. L'auteur fait aussi fonctionner un appareil dans lequel la dilatation d'une colonne d'huile contenue dans un tube de fer, s'exerçant sur une plaque de plomb retenue par une garniture d'acier, percée d'un trou, en fait sortir par pression un cylindre de plomb, comme le ferait un effort mécanique que l'auteur évalue à 800 atmosphères.

La séance est levée à 10 heures

Sur la composition optique de mouvements vibratoires rectangulaires de période et de phase quelconques; par M. E. Mercadier.

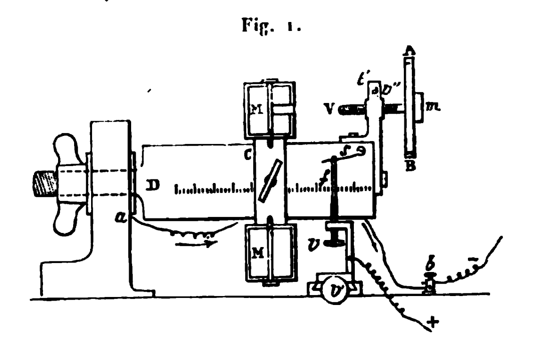
L'appareil qui va être décrit, et qui est construit par M. Duboscq, est destiné à montrer les figures résultant de la composition de pa-

reils mouvements, c'est-à-dire principalement à faire les expériences classiques de M. Lissajous, en y ajoutant les deux points suivants. En premier lieu on peut, *avec deux diapasons seulement*, produire les figures représentatives de tous les intervalles compris entre l'unisson et l'octave et *les rendre absolument fixes* pendant tout le temps qu'on veut. Ensuite on peut, pour un intervalle quelconque, correspondant à un rapport de périodes $\frac{T'}{T}$, produire à volonté et rendre fixe chaque figure relative à ce rapport $\frac{T'}{T}$ *et à une différence de phase quelconque*. Ces figures d'ordinaire se produisent, on le sait, toutes successivement, parce que, en général, le rapport $\frac{T'}{T}$ n'est pas complétement atteint ou qu'il est légèrement dépassé; l'une d'elles se produit au hasard, si le rapport $\frac{T'}{T}$ est exact, quand on fait vibrer les corps sonores à l'aide des moyens ordinairement employés, tels que le choc ou le frottement.

I. L'appareil se compose de deux diapasons, du genre de ceux que j'ai déjà décrits sous le nom d'*électro-diapasons*, et dont le mouvement produit par un courant et un électro-aimant s'entretient automatiquement. (Voir *Journal de Physique*, t. II, p. 350.)

Les *fig.* 1 et 2 représentent l'un de ces instruments.

Fig. 1.

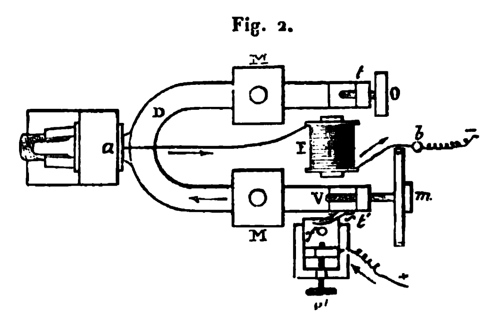


1° Les pièces formant le dispositif électrique sont :

Un électro-aimant E à fil gros permettant l'emploi d'éléments de piles énergiques, comme des éléments au bichromate de potasse à double zinc (deux ou trois éléments en tension), ou des éléments

Bunsen. Il est fixé entre les branches de l'électro-diapason à une distance de 3 ou 4 millimètres de chaque côté, pour qu'on puisse

Fig. 2.



donner à ces branches une amplitude de 4 ou 5 millimètres, et sur un support solide à pieds munis de vis calantes. L'un des bouts du fil de cet électro-aimant communique avec le diapason en un point *a*; l'autre bout communique, à l'aide d'un bouton *b*, à l'un des pôles de la pile. Un style *s*, en fil d'argent d'environ $0^{mm},5$ de diamètre, est fixé au diapason par une vis.

Un buttoir *f* métallique, relié à l'autre pôle de la pile, peut avoir des formes diverses, à la condition de pouvoir être approché graduellement du style. La forme indiquée sur la figure donne de bons résultats. C'est un gros fil d'argent *f* de 1 millimètre de diamètre environ, soudé à une vis *v* dont l'écrou est fixé à une glissière à laquelle une vis *v'* peut donner un mouvement horizontal. Cette dernière vis permet d'appuyer le buttoir *f* contre le style : la vis *v* permet de faire varier le point de contact de ces deux pièces sans changer leur pression mutuelle, ce qui est nécessaire pour prévenir les effets de leur usure et de leur oxydation.

On voit que, lorsque *f* et *s* se touchent, le courant passe et anime l'électro-aimant; les deux branches de l'instrument se rapprochent, mais le courant cesse aussitôt pour se rétablir après la durée d'une période quand le style revient alors, en vertu de l'élasticité de l'acier, toucher le buttoir, et ainsi de suite : le mouvement est entretenu ainsi automatiquement par le passage dans l'électro-aimant d'un courant à chaque période. Il se produit d'ailleurs à chaque fois une étincelle d'induction verte, dont la présence dans l'obscurité sert à contrôler la régularité de la marche de l'appareil, et permet même de le mettre ou remettre en marche sans avoir besoin, à la rigueur, de voir ni le buttoir ni le style.

2° Le dispositif optique de l'appareil se compose d'un miroir en acier poli ou en verre argenté O vissé soit au diapason lui-même soit à un montant en cuivre *t* semblable à celui de *t'* de la *fig.* 1, et sur lequel on fait tomber un faisceau lumineux à la manière ordinaire.

3° Une troisième série de pièces est destinée à faire varier à volonté la période de l'instrument. Les unes la font varier rapidement pendant que le mouvement est arrêté, lorsqu'on veut passer d'une figure acoustique à une autre; ce sont des masses prismatiques en cuivre remplies de plomb, M, fixées par un bouchon à vis ou même soudées à un curseur *c*, qui permet de les faire glisser sur les branches le long d'une graduation en millimètres et de les fixer à une position quelconque. On peut donner à ces masses, sans inconvénient, des poids de 500 ou 600 grammes. On détermine aisément ces poids de façon qu'en les transportant de l'extrémité du diapason au voisinage du talon la période varie du simple au double.

Une dernière pièce permet de faire varier la période très-lentement et, ce qui est très-important, *sans arrêter le mouvement* de l'instrument. C'est une vis V en acier à double filet dont le pas est de 1 millimètre, et dont l'écrou *t'* en cuivre est vissé à la branche du diapason, comme l'indique la *fig.* 1. La tête de cette vis porte des cames en cuivre A, B, I, K (*fig.* 3) et une petite masse en

Fig. 3.

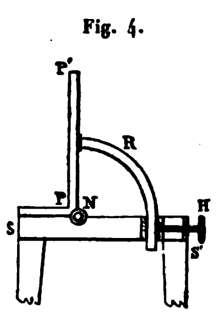
A K B I

plomb *m* pour augmenter son poids. L'écrou de la vis est fendu et un bouton *v''* permet de le serrer suffisamment, pour que pendant le mouvement du diapason il n'y ait pas de ballotage qui empêcherait ce mouvement, mais pour qu'on puisse néanmoins, en frappant les cames avec un petit marteau ou avec le doigt, faire avancer ou reculer la vis et la masse *m*, sans arrêter le mouvement. Par suite, en déplaçant ainsi le centre de gravité du système, on peut en faire varier la période, l'augmenter si *m* marche vers la droite, la diminuer si *m* marche vers la gauche. On arrive ainsi très-aisément, avec un peu d'exercice, à changer par degrés insensibles la période

du mouvement vibratoire *sans l'arrêter* et même sans en changer notablement l'amplitude.

II. Supposons maintenant un second diapason identique au premier sauf les masses, et réglé de telle manière que, les masses du premier étant reculées autant que possible, les deux instruments soient à l'unisson. En outre, le second est disposé de façon que le plan de sa vibration puisse être horizontal ou vertical. La *fig.* 4 indique une des dispositions qu'on peut adopter à cet effet. Le diapason est monté sur une planchette PP′ mobile autour d'une charnière N placée sur le support à pieds SS′, et cette planchette peut être maintenue dans un azimut quelconque à l'aide d'un arc de cercle en cuivre R et d'une vis de pression H.

Fig. 4.



Le diapason n° 2 étant horizontal et mis en vibration, si l'on fait mouvoir le premier après avoir reculé les masses M, on pourra faire alors les expériences qui montrent l'interférence des mouvements vibratoires parallèles. Le diapason n° 2 étant placé verticalement, on voit qu'on pourra montrer la composition de deux mouvements vibratoires quelconques rectangulaires, dont le rapport $\frac{T'}{T}$ des périodes est compris entre 1 et 2.

A cet effet, en faisant mouvoir les masses M, on arrivera rapidement à produire la forme générale de la figure optique caractéristique de l'intervalle $\frac{T'}{T}$ cherché; mais, à moins de tomber juste sur cet intervalle, ce qui n'arrive pour ainsi dire jamais, on n'obtiendra d'abord qu'un intervalle plus ou moins approché de $\frac{T'}{T}$. Or

on sait qu'alors, T et T′ étant les durées des périodes exactes des deux mouvements, et

$$(1) \qquad \begin{cases} x = a \sin 2\pi \dfrac{t}{T}, \\ y = a \sin 2\pi \left(\dfrac{t}{T'} + \varphi\right) \end{cases}$$

les équations de la courbe du mouvement résultant; si par le déplacement des masses M on arrive à une période T″ très-voisine de T′, les choses se passent comme si la courbe du mouvement résultant était la même que celle que représentent les équations (1) avec une phase φ variable avec le temps. On voit alors se succéder d'une manière continue une série de courbes, correspondant aux équations (1), dans lesquelles φ prendrait toutes les valeurs successives de zéro à 1, et qu'on peut considérer comme le résultat de la déformation continue de l'une quelconque d'entre elles, qui se reproduit périodiquement au bout d'un temps qu'on peut appeler, pour abréger, la *période de déformation*.

On reconnaîtra donc qu'on arrive à une valeur T″ de la période du diapason n° 1 voisine de T′ lorsqu'on apercevra ces figures successives, et plus la période de déformation sera longue, plus T″ sera rapproché de T′.

C'est alors que, après avoir fixé les masses M, on peut faire usage de la vis à cames V. Sans arrêter le mouvement, on fait mouvoir cette vis par petits chocs brusques et l'on arrive alors à allonger peu à peu la durée de la période de déformation, de façon à rapprocher T″ de T′ autant qu'on le veut et à obtenir une courbe résultante de l'une des formes caractéristiques de l'intervalle $\frac{T'}{T}$ considéré, cette courbe conservant une grande fixité.

III. On peut aller plus loin, et résoudre complétement le problème suivant : *Produire la courbe résultant de la composition de deux mouvements de périodes* T *et* T′ *et d'une différence de phase déterminée* φ', *et la maintenir fixe.*

En effet, supposons qu'on soit arrivé, à l'aide des moyens de réglage ci-dessus indiqués, à produire l'une des formes de la courbe caractéristique de l'intervalle $\frac{T'}{T}$ avec une période de déformation

assez longue. Il s'agit en quelque sorte d'*arrêter* le mouvement de déformation à la courbe qui correspond à la différence de phase φ' et de *maintenir* cette courbe.

Puisque, dans les circonstances où l'on se trouve placé, une variation très-petite de période de l'un des mouvements vibratoires revient à une variation de la différence entre sa phase et celle de l'autre mouvement, il doit suffire pour résoudre la question précédente de pouvoir faire varier la période de l'un des mouvements *brusquement*, au moment où la variété de courbe où l'on veut s'arrêter se présente, et de *maintenir* à cette période sa nouvelle valeur.

Or on sait, et je l'ai démontré rigoureusement dans un Mémoire inséré récemment dans ce Bulletin (*voir* p. 41, année 1876), que *la période d'un mouvement vibratoire dont l'amplitude est assez grande augmente ou diminue avec l'amplitude*. Cette variation est extrêmement faible, il est vrai ; mais le procédé optique de composition des mouvements vibratoires est assez sensible pour la mettre nettement en évidence. On n'a, pour s'en convaincre, qu'à supprimer le courant de la pile qui anime l'un des électro-diapasons en expérience : son amplitude diminue graduellement, et l'on voit immédiatement varier la *vitesse de déformation* de la courbe, ce qui prouve une variation de période correspondante.

On est ainsi ramené, pour résoudre la question posée, à modifier *brusquement* l'amplitude de l'un des mouvements, dès que se présente la courbe demandée, et à maintenir l'amplitude correspondant à la valeur de la période qui convient à cette variété de courbe.

Il y a plusieurs moyens de faire varier cette amplitude : on peut faire varier l'intensité de la pile de l'un des électro-diapasons ; on peut aussi, ce qui revient au même d'ailleurs, faire mouvoir l'électro-aimant E (*fig.* 1) dans une glissière, de façon à l'éloigner ou à le rapprocher de l'extrémité des branches de l'instrument ; mais ces moyens sont insuffisants, parce qu'ils ne permettent pas de changer *subitement, brusquement,* l'amplitude. Un moyen plus simple et efficace consiste à exercer sur l'une des branches de l'instrument une pression graduée, soit avec le doigt, soit avec une vis dont la tête est couverte d'un fragment de tube ou d'un hémisphère en caoutchouc.

L'expérience prouve qu'en effet on fait ainsi varier immédiate-

ment la vitesse du mouvement de déformation des courbes acoustiques. Seulement, pour arriver au but à atteindre, il faut savoir si le diapason dont on a à faire varier l'amplitude est en avance ou en retard, s'il faut diminuer ou augmenter sa période et par suite son amplitude. Cela est aisé à reconnaître, d'après ce qui vient d'être dit. En effet, si, en exerçant une légère pression sur l'un des diapasons, la rapidité de la déformation de la courbe augmente, c'est que le désaccord des deux diapasons augmente par cette pression, c'est-à-dire par cette diminution d'amplitude; cette amplitude est donc déjà trop petite et le diapason va déjà trop vite. En ce cas, on peut ou bien agir sur l'autre diapason, ou bien ralentir le premier en agissant sur la vis à cames V, jusqu'à ce que la pression ralentisse le mouvement de déformation de la courbe : on peut toujours arriver à ce résultat.

Dès lors voici comment il faut agir. Lorsque l'un des diapasons est ainsi réglé et que, par suite du mouvement lent de déformation, on est arrivé à la variété de courbe correspondant à la différence de phase φ' donnée, on presse le diapason de façon à arrêter le mouvement de déformation, et il suffit alors de maintenir une pression convenable (et par suite une amplitude et une période convenables) pour que la courbe obtenue reste fixe.

Tels sont les principaux résultats auxquels cet instrument permet d'arriver. Je dois ajouter que, s'il s'agit de montrer la composition des mouvements relatifs aux intervalles musicaux les plus simples seulement : unisson, octave, sixte, quinte, quarte, tierces majeure et mineure, il suffit de prendre des diapasons correspondant, sans masses, à l'ut_2 (128 périodes ou vibrations doubles par seconde). Si l'on veut aller plus loin, et opérer sur des intervalles de forme plus complexe que la tierce mineure, $\frac{6}{5}$, on le peut sans doute; mais la netteté des figures optiques se trouve alors altérée par un phénomène accessoire dont je ne parlerai pas en ce moment, et il faudrait alors se servir de diapasons plus aigus pour avoir des courbes d'une netteté suffisante.

Après les explications précédentes, il paraîtra d'ailleurs inutile d'insister sur la précision qu'on peut obtenir avec un électro-diapason comme celui qui a été décrit en l'employant comme tonomètre, dans l'intervalle d'une octave et même de plusieurs octaves.

On voit, en effet, qu'on peut le mettre aisément, avec une justesse en quelque sorte sans limites, à l'unisson, ou à l'octave ou à la double octave d'un corps sonore quelconque, pourvu qu'on puisse fixer à la surface de ce dernier un point brillant et le viser par réflexion sur le miroir de l'électro-diapason à la manière ordinaire.

Sur une nouvelle application industrielle de la chaleur, dite : Le moteur thermodynamique; par M. Ferdinando Tommasi.

§ I. *Principe.* — En présence des services rendus à l'industrie par l'emploi de la vapeur d'eau comme force motrice, nous nous sommes posé la question de savoir s'il était indispensable de chauffer un liquide jusqu'à changement d'état avant de songer à lui demander, simplement par l'effet de sa dilatation, un travail dynamique quelconque.

Et nous avons reconnu (non-seulement par le raisonnement, mais aussi par l'argument sans réplique de l'expérience) :

1° Que, pour tout accroissement de température, si petit qu'il soit, la chaleur communiquée à un liquide peut, par suite de la dilatation de ce dernier, se convertir, théoriquement, presque intégralement en travail dynamique;

2° Que, pour une quantité donnée de chaleur, ce travail dynamique peut être bien autrement considérable que s'il était produit par la tension de la vapeur, puisque la dilatation d'un liquide n'absorbe pas de chaleur à l'état latent, comme il arrive audit liquide au moment où il se transforme en vapeur;

3° Que, pour un volume de liquide donné, la quantité du volume additionnel obtenu par sa dilatation étant naturellement en rapport avec la quantité de chaleur communiquée au liquide et avec le coefficient de dilatation de ce dernier, il y a avantage à se servir d'un liquide incapable de se transformer en vapeur et dont la capacité calorifique ainsi que le coefficient de dilatation soient aussi élevés que possible;

4° Que, par conséquent, préférablement à tout autre liquide, il

y a lieu d'employer à cet objet les huiles fixes et inoxydables dont la chaleur spécifique est 0,31, le coefficient de dilatation $\frac{8}{100000}$, et qui ne peuvent pas se vaporiser;

5° Que, cependant, étant nécessaire que la température de l'huile, malgré la durée indéterminée et la continuité du travail, ne dépasse pas un certain nombre de degrés fixés à l'avance, il faut que cette huile soit alternativement et successivement chauffée et refroidie, ce qui produit une augmentation et une diminution alternative et successive de son volume;

6° Que la puissance dynamique ainsi développée par la dilatation et condensation alternative et successive de l'huile est parfaitement applicable à un piston plongé dans cette huile dans la même disposition que les pistons des presses hydrauliques, et que ce piston peut agir sur un arbre de couche ou sur un balancier dans des conditions identiques à celles des pistons à simple effet des machines à vapeur;

7° Que cette puissance ne connaît pas d'autres bornes que celles qui lui sont imposées par la solidité de l'appareil, à la condition cependant de ne pas excéder un certain nombre de kilogrammètres par calorie [1];

8° Que l'explosion des appareils étant absolument impossible là où il n'y a pas de gaz comprimés, et la compressibilité des huiles étant bien peu de chose, il devient facile et complétement sans danger de faire travailler ces appareils à des pressions relativement très-considérables;

9° Que la source de la chaleur nécessaire pour dilater l'huile peut être empruntée à la vapeur d'échappement d'un cylindre à vapeur ordinaire, et que, dans ce cas, *cette source de chaleur est* ESSENTIELLEMENT GRATUITE;

10° Que cette vapeur d'échappement, en se condensant au moment où elle cède sa chaleur à l'huile, produit un vide dont profitent les pistons à vapeur et que l'on peut refouler dans la chaudière l'eau chaude qui en résulte et utiliser ainsi le résidu de la chaleur qu'elle contient;

11° Qu'il résulte de l'exposé qu'un moteur mis en mouvement par

---

[1] Ce nombre ce trouverait excédé lorsque la quantité de chaleur à consommer dans l'effort dynamique ou bien la réduction de volume due à la compression, égale ou dépasse l'augmentation de volume produite par la dilatation.

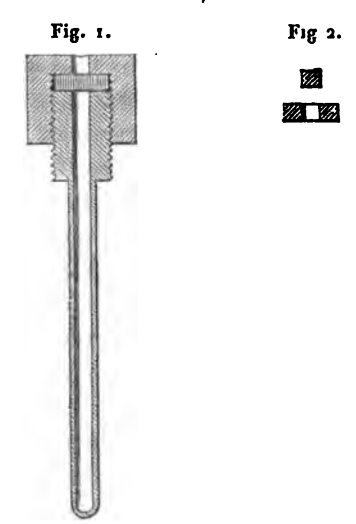
la dilatation de l'huile est le complément naturel d'un cylindre à vapeur, puisqu'il permet d'utiliser, aussi entièrement que possible, la chaleur dépensée pour vaporiser l'eau;

12° Enfin que ce moteur peut recevoir des applications très-nombreuses et que rien ne s'oppose à ce qu'il produise son travail avec le concours des cylindres à vapeur, dont il utilise l'échappement sur une seule et même machine pour produire un seul et même travail.

Dans l'impossibilité de transporter dans les salles de la Société les grands appareils d'expériences et les machines qui réalisent l'application pratique et industrielle de cette nouvelle force motrice, nous avons dû nous borner à soumettre aux savants membres de cette Société une expérience qui démontre que, pour tout accroissement de température, si petit qu'il soit, la chaleur communiquée à une huile fixe peut, par suite de la dilatation de cette dernière, se convertir en travail dynamique.

§ II. *Expérience.* — Un tube en fer (longueur, 1 mètre; diamètre intérieur, $0^m,008$; section intérieure, 50 millimètres carrés; capacité, 50 centimètres cubes), bouché à son extrémité inférieure et terminé à son extrémité supérieure par un fort filet de vis, a été complétement rempli d'huile d'olive (*fig.* 1).

Fig. 1. Fig 2.



Une rondelle en plomb de l'épaisseur de $0^m,006$ a été placée sur l'orifice du tube.

Un chapeau en fer, taraudé à l'intérieur et percé par un trou

dont le diamètre est le même que celui de l'intérieur du tube, fixe et serre cette rondelle sur l'orifice de ce tube de manière à le boucher hermétiquement.

En chauffant alors légèrement le tube, l'huile dilatée force la portion de rondelle qui correspond au trou du chapeau à se couper contre ce dernier et à le traverser en laissant la rondelle percée au milieu, exactement comme si elle l'avait été par un emporte-pièce (*fig.* 2).

Ce travail est accompli par l'huile dans l'espace de quelques secondes.

Pour mesurer ensuite la tension à laquelle ce travail a été accompli et, en même temps, le nombre de kilogrammètres obtenus (cela d'une manière au moins approximative), on a procédé à l'expérience suivante :

Une rondelle en plomb (B), tout à fait pareille à celle qui a servi dans l'expérience précédente, a été placée entre une tige en acier A et un trou pratiqué dans un socle en fonte. Ce trou et cette tige ont le même diamètre que l'intérieur du tube dans lequel l'huile a été dilatée.

Pour que la tige en acier A ait pu percer la nouvelle rondelle en plomb, dans le même espace de temps et dans les mêmes conditions que l'autre, il a été nécessaire de suspendre au bout du levier qui lui est fixé un poids de 20 kilogrammes. Le bout de ce levier étant 20 fois plus éloigné du centre de rotation que la tige en acier, il est évident qu'en multipliant par 20 le poids que l'on y a suspendu on aura le poids qui aurait été nécessaire pour opérer verticalement sur la tige en acier. Ce poids étant par conséquent de 400 kilogrammes et la section de la tige étant de 50 millimètres carrés, il aurait fallu un poids de 800 kilogrammes pour 1 centimètre carré. Le poids de 800 kilogrammes par centimètre carré équivaut à 800 atmosphères environ.

Dans ces expériences, il est difficile de mesurer exactement non-seulement le nombre de kilogrammètres obtenus, mais aussi la quantité de chaleur dépensée. Le calcul, cependant, démontre que cette dernière n'excède pas $\frac{1}{10}$ de calorie (8 degrés) et l'on peut évaluer à 2,5 environ le nombre de kilogrammètres obtenus, ce qui revient à 25 kilogrammètres par calorie.

SÉANCE DU 7 AVRIL 1876.

PRÉSIDENCE DE M. JAMIN.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. A. Fridblatt, contrôleur du télégraphe à Chaumont ; Décler, professeur au Collége de Langres ; George Fleetwood Lawton, électricien de l'*Eastern Telegraphe C°*, à Marseille.

M. Henri Becquerel fait connaître la suite des résultats de ses recherches sur le pouvoir rotatoire magnétique des diverses substances. Il signale spécialement les particularités que présentent les solutions magnétiques de protochlorure et de perchlorure de fer.

M. Niaudet présente, au nom de M. Jablochkoff, un électro-aimant, formé d'un noyau de fer doux autour duquel est enroulée de champ une bande de cuivre formant une spirale plate. Grâce à cette disposition, on obtient des effets magnétiques plus intenses, toutes choses égales d'ailleurs, qu'avec un fil de cuivre de même section et de même longueur. En appliquant la spirale sur une plaque d'acier, on réalise un aimant circulaire donnant au centre un pôle et sur le pourtour un pôle contraire.

M. Jamin expose les principes de la théorie qu'il a imaginée pour rendre compte des phénomènes dont il a antérieurement trouvé les lois par expérience.

Il arrive à l'équation

$$y = M\left[e^{ax} - e^{a(2l-x)}\right],$$

qui établit la distribution du magnétisme dans toute la longueur du barreau. Seulement, dans la formule de Biot, $a = \frac{c}{r}$, dans celles de M. Jamin $a = \frac{c}{\sqrt{r}}$, c étant une constante, r étant le rayon du barreau.

On peut se rendre compte, suivant M. Bouty, de la différence entre ces résultats en remarquant que les expériences de Coulomb et les siennes ont été faites par la méthode des moments magnétiques, tandis que celles de M. Jamin ont été faites par la méthode de la force d'arrachement.

La séance est levée à 10 heures un quart.

Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique ([1]); par M. Henri Becquerel.

Depuis la découverte de Faraday, les physiciens qui ont étudié le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique ont montré que la rotation du plan de polarisation d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant, sous une même épaisseur, divers corps soumis à une intensité magnétique donnée, variait avec la nature de ces corps; mais ils n'ont reconnu aucun rapport simple entre la grandeur de la rotation et les propriétés physiques ou chimiques des corps.

M. de la Rive avait fait observer que la rotation semblait d'autant plus grande que l'indice de réfraction des corps était plus grand; mais quelques expériences de M. Verdet ayant paru contredire cette remarque, on ne fit pas d'autres recherches dans cette voie.

Les expériences faites jusqu'ici ne m'ont pas semblé suffisamment concluantes, et j'ai pensé qu'en étudiant des corps diamagnétiques et très-réfringents, l'influence de l'indice de réfraction pourrait devenir prépondérante, et manifester une relation masquée dans les expériences antérieures. Ces prévisions ont été pleinement confirmées, et les observations se sont immédiatement étendues à d'autres parties de la question.

Je me suis servi, dans ce travail, d'un très-fort électro-aimant à branches verticales, dont les armatures sont percées d'un trou cylindrique suivant la ligne des pôles. Le corps à étudier était placé entre les deux armatures polaires.

La mesure des rotations se faisait au moyen d'un polarimètre à pénombres. Les sources de lumière étaient la flamme monochromatique de sodium, la flamme de lithium, vues au travers d'un verre rouge pour éliminer la lumière orangée, et, dans des cas exceptionnels, la lumière Drummond transmise à travers des écrans rouges, verts ou bleus, laissant passer une lumière sensiblement homogène.

([1]) Recherches présentées à l'Académie des Sciences dans trois Notes, le 7 juin 1875, le 31 janvier et le 10 juillet 1876.

Les dispositions précédentes ont l'avantage de permettre d'observer des corps très-colorés sous une petite épaisseur.

1° *Relation entre le pouvoir rotatoire magnétique des corps et leurs indices de réfraction.* — Le tableau suivant contient quelques-uns des résultats obtenus. L'unité qui a été choisie pour cette série d'expériences est la rotation magnétique de sulfure de carbone.

TABLEAU I.

DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	POUVOIR rotatoire magnétique R.	INDICE de réfraction n.	RAPPORT $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$.
Lumière jaune (raie D).			
Alcool méthylique	0,253	1,3530	0,166
» propylique	0,279	1,3836	0,160
» butylique	0,294	1,3934	0,161
» amylique	0,311	1,4046	0,162
Chloroforme	0,380	1,4520	0,163
Protochlorure de carbone	0,404	1,4580	0,169
Sous-sulfure de phosphore	2,592	2,0661	0,186
Soufre fondu (114 degrés)	1,904	1,9290	0,188
Protochlorure de soufre S^2Cl	0,984	1,6460	0,212
Bichlorure de soufre SCl	0,932	1,6190	0,219
Perchlorure de carbone	0,761	1,5620	0,216
Chlorure de silicium	0,444	1,4090	0,227
Protochlorure de phosphore	0,651	1,5080	0,225
Phosphore fondu	3,120	2,0740	0,220
Sulfure de carbone	1,000	1,6249	0,231
Cristaux monoréfringents. Blende (cristallisée)	5,295	2,3690	0,204
Cristaux monoréfringents. Sel gemme NaCl	0,843	1,5430	0,256
Cristaux monoréfringents. Silicine KCl	0,672	1,4830	0,255
Lumière rouge.			
Sulfure de carbone	1,000	1,6120 Li	0,240
Oxyde de cuivre	14,060	2,8490 Li	0,241
Sélénium	1,960	2,6550 B	0,255
Brome	10,960	1,6160 Li	0,465

En étendant les expériences à un grand nombre de substances, on reconnaît que la rotation magnétique croît en général avec l'in-

dice de réfraction n des corps, à peu près comme la fonction $n^2(n^2-1)$, et l'on arrive aux conséquences suivantes :

1° Pour les corps diamagnétiques, le quotient du pouvoir rotatoire magnétique R par le produit $n^2(n^2-1)$ est un nombre qui varie peu si on le compare aux grandes différences que l'on observe dans la grandeur des rotations magnétiques.

2° En rapprochant entre elles les substances pour lesquelles le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est le même, on reconnaît que les corps d'un groupe sont des composés des mêmes substances chimiques, ou appartiennent à la même famille.

Ainsi, en opérant avec la lumière jaune du sodium et prenant pour unité la rotation du sulfure de carbone à 16 degrés, on trouve que :

Les acides très-oxygénés, tels que l'acide azotique et l'acide sulfurique, donnent pour le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ des nombres très-petits voisins de 0,11 ;

Les alcools, le protochlorure de carbone, le chloroforme, des nombres voisins de 0,16;

Les composés du soufre s'écartent peu de 0,188;

Les composés du chlore, du phosphore, donnent à peu près 0,22;

Le brome et l'iode se remarquent par la grandeur du rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$, qui avec la lumière rouge atteint 0,465 pour le brome. Ce caractère se retrouve dans les bromures et les iodures.

Les composés d'étain, d'antimoine, de bismuth donnent des nombres très-grands relativement aux précédents et communiquent ce caractère à leurs dissolutions.

Pour ces dissolutions, le rapport $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est intermédiaire entre celui du dissolvant et celui qui correspondrait au corps dissous, et d'autant plus près de ce dernier que la dissolution est plus concentrée.

Le quotient $\frac{R}{n^2(n^2-1)}$ est donc un nombre qui caractérise la nature chimique de la substance étudiée et l'intervention propre de cette substance dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique. Ce nombre est

grand pour les corps les plus diamagnétiques, le brome, l'antimoine, le bismuth; et il est d'autant plus petit que les corps sont moins diamagnétiques ou renferment plus d'oxygène. Dans les combinaisons, l'oxygène se comporte comme très-magnétique.

Parmi les corps étudiés, le soufre fondu présente une particularité remarquable. Le pouvoir rotatoire magnétique de ce corps augmente très-rapidement à mesure qu'il se refroidit et s'approche du point de solidification. Cette variation rapide correspond à un accroissement aussi rapide de l'indice de réfraction.

Un certain nombre de corps cristallisés, tels que le spath-fluor, le diamant, le rubis-spinelle, s'écartent de la loi générale. Ce fait ne peut s'expliquer jusqu'ici que par un état particulier des corps cristallisés qui les rend rebelles à l'action du magnétisme. C'est un fait d'observation qui s'étend aux cristaux biréfrigents et à certains cristaux monoréfringents.

2° *Corps magnétiques.* — Les corps magnétiques, à part quelques exceptions, présentent, comme on le sait, la propriété remarquable de dévier le plan de polarisation de la lumière à l'inverse des corps diamagnétiques. Les dissolutions des sels de fer dans l'eau manifestent ces effets inverses, ainsi que l'a montré M. Verdet. On convient d'appeler *rotations positives* les rotations magnétiques de même sens que celle de l'eau, et *rotations négatives* les rotations inverses des précédentes. En mesurant les rotations magnétiques produites par des dissolutions inégalement concentrées de protochlorure et de perchlorure de fer dans l'eau, on obtient les résultats indiqués dans les tableaux suivants. Ces rotations ont été mesurées pour la lumière jaune D du sodium, et sont rapportées à la rotation de l'eau comme unité.

TABLEAU II.

DENSITÉS des dissolutions.	POIDS DU SEL dans l'unité de volume.	POIDS DE L'EAU dans l'unité de volume.	ROTATION de la dissolution.	ROTATION du sel anhydre.	POUVOIR rotatoire moléculaire.
Lumière jaune D.					
Dissolutions de protochlorure de fer dans l'eau.					
1,4331	0,5283	0,9048	+ 0,195	— 0,709	— 1,343
1,2141	0,2641	0,9500	+ 0,765	— 0,185	— 0,701
1,1093	0,1320	0,9773	+ 0,908	— 0,069	— 0,528
1,0548	0,0660	0,9888	+ 0,954	— 0,034	— 0,521
Dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau.					
1,6933	1,0247	0,6686	—15,584	—16,252	—15,869
1,5315	0,7657	0,7658	— 8,768	— 9,533	—12,446
1,3230	0,4410	0,8820	— 2,674	— 3,556	— 8,059
1,1681	0,2205	0,9476	— 0,116	— 1,063	— 4,822
1,0864	0,1102	0,9762	+ 0,621	— 0,355	— 3,215
1,0445	0,0551	0,9894	+ 0,869	— 0,120	— 2,177
1,0232	0,0275	0,9957	+ 0,936	— 0,0597	— 2,153

On admet généralement qu'avec des dissolutions inégalement concentrées d'un sel diamagnétique, le rapport de la rotation magnétique, corrigé de l'action du dissolvant, au poids du sel anhydre contenu dans l'unité de volume de la dissolution est un nombre sensiblement constant, que l'on peut appeler le pouvoir rotatoire magnétique moléculaire du sel dissous. J'ai reconnu, au contraire, que les dissolutions de protochlorure et de perchlorure de fer dans l'eau conduisent à des nombres essentiellement variables. Lorsque ces dissolutions sont très-étendues, le pouvoir rotatoire moléculaire qui est négatif est sensiblement constant; puis, à mesure que la concentration devient plus grande, il augmente à peu près proportionnellement au poids du sel anhydre contenu dans l'unité de volume de la dissolution. L'état de sursaturation des dissolutions concentrées se maintient pendant un temps suffisant pour permettre les observations à la température ordinaire.

Le perchlorure de fer forme avec l'eau diverses combinaisons chimiques, mais ces combinaisons ne semblent pas influer sur la

régularité du phénomène. Pour des dissolutions plus concentrées encore que celles qui sont citées ici, et qui contiennent 7 pour 100 et jusqu'à 8 pour 100 de perchlorure de fer, ces observations présentent des anomalies dont l'étude ne saurait trouver place dans cet extrait, et pour lesquelles je renvoie au Mémoire complet que j'ai présenté à l'Académie le 10 juillet 1876.

Ainsi l'on arrive à cette conséquence importante, qu'avec les sels de fer la rotation magnétique croît beaucoup plus vite que le nombre des molécules actives.

Il est très-remarquable de rapprocher cette observation d'une expérience faite autrefois par mon père. Si l'on enferme dans un petit cylindre de papier des mélanges homogènes de fer en poudre et de résine, et que l'on soumette ces petit barreaux à l'action d'un aimant, on voit que l'action magnétique est d'abord proportionnelle au poids de fer contenu dans le mélange; puis, lorsque le poids du fer dépasse une certaine proportion, l'attraction magnétique croît très-vite et est représentée par une fonction du carré du poids du fer, fonction analogue à celle que j'ai indiquée pour représenter les rotations négatives des chlorures de fer.

On peut expliquer ce fait, en admettant que les parcelles de fer, qui deviennent par influence de petits aimants, réagissent les unes sur les autres de façon à augmenter le magnétisme propre qu'elles prendraient si elles étaient soumises à l'action de l'aimant. La

Fig. 1.

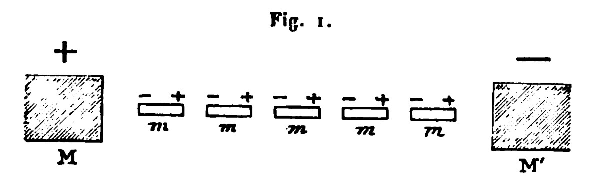


fig. 1, dans laquelle M et M' représentent les pôles de l'électro-aimant, et *m* les molécules de la substance étudiée, montre comment peut avoir lieu l'orientation polaire des molécules.

L'analogie complète entre ce fait et les résultats indiqués plus haut conduit à supposer que la rotation magnétique négative du plan de polarisation de la lumière est due à une action propre des molécules qui agissent sur la lumière polarisée comme autant de petits aimants inverses à l'aimant qui les influence. Cette hypothèse expliquerait comment, lorsque les molécules sont trop éloignées pour

s'influencer mutuellement d'une façon sensible, la rotation moléculaire est constante, et comment cette rotation augmente lorsque, par suite de la concentration, les molécules se rapprochent de façon à pouvoir réagir l'une sur l'autre.

Ces actions moléculaires ne sont pas proportionnelles aux attractions et répulsions magnétiques; car, si l'on suppose que les molécules réagissent les unes sur les autres, l'action de chaque molécule sur un point intérieur peut être augmentée sans que l'attraction sur un point extérieur relativement très-éloigné le soit dans la même proportion, cette attraction dépendant de la quantité de magnétisme non dissimulé par les molécules voisines.

Bien plus, certains corps diamagnétiques, tels que le bichlorure de titane, sont négatifs; mais ils renferment toujours, dans ce cas, un élément très-magnétique. D'autres, tels que le nickel, le cobalt et le manganèse, qui sont magnétiques, sont positifs, et même positifs ou négatifs comme le manganèse, suivant que l'action positive des substances combinées prédomine plus ou moins.

D'une manière générale, cette étude montre que la nature des molécules des corps intervient directement dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique, et que, dans une molécule complexe, il peut y avoir indépendance entre les effets produits par les divers éléments qui la composent.

On peut en conclure que la rotation magnétique du plan de polarisation de la lumière est fonction du magnétisme qui se développe par influence dans les molécules des corps.

3° *Dispersion des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses longueurs d'onde.*— L'étude de la dispersion des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses couleurs, pour un même corps, présente un intérêt spécial, parce que, la constitution chimique du corps étudié restant la même, les effets observés doivent être intimement liés à la nature et au mode de propagation des vibrations lumineuses. Le tableau ci-joint renferme les résultats des expériences faites sur plusieurs corps diamagnétiques et magnétiques. Les nombres d'une même colonne verticale se rapportent à une même longueur d'onde et représentent les rapports des diverses rotations à la rotation correspondante pour la lumière jaune D, avec le même corps.

TABLEAU III.

Rotations magnétiques des rayons de diverses longueurs d'onde.

	ROUGE.						JAUNE.	VERT.			BLEU.			
Raies du spectre	Raie rouge du lithium.	"	C	"	"	"	D	"	"	E	F	"	"	G
Rapports $\frac{\lambda_D^2}{\lambda^2}$	0,7719	0,7970	0,8057	0,8100	0,8210	0,8340	1,0000	1,1940	"	1,2504	1,4694	1,7120	"	1,8712
Rotations magnétiques positives.														
Sulfure de carbone	"	0,760	0,771*	0,781	0,790	0,804	1,000	1,236	1,272	1,302*	1,607*	1,976	2,023	2,219*
Eau	"	0,770	"	"	"	"	1,000	"	1,256	"	"	"	1,811	"
Sous-sulfure de phosphore	0,735	0,755	"	"	"	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
Rotations magnétiques négatives.														
Bichlorure de titane	"	"	"	"	"	0,710	1,000	1,370	"	"	"	2,960	"	"
Dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau, contenant : 0,33 de perchl. de fer	"	0,611	"	"	0,661	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
0,60 id.	"	"	"	0,654	0,662	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
0,70 id.	"	"	"	"	0,676	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
0,75 id.	"	"	"	"	0,678	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
Perchlorure de fer anhydre (calculé)	"	0,647	"	0,659	0,686	"	1,000	"	"	"	"	"	"	"
Rapports $\frac{\lambda_D^4}{\lambda^4}$	0,596	0,635	0,649	0,656	0,674	0,695	1,000	1,425	"	"	"	2,930	"	3,501

Nota. — Les quatre nombres marqués d'un astérisque sont empruntés au Mémoire de M. Verdet (*Ann. de Ch. et de Ph.*, 3e série, t. LXIX), et sont placés ici pour servir de points de repère.

La discussion des observations conduit aux conséquences suivantes :

1° *Rotations positives des corps diamagnétiques.* — Les rotations positives des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'onde croissent, comme on le sait, approximativement en raison inverse du carré des longueurs d'onde. Si l'on tient compte de l'indice de réfraction correspondant à chaque rayon, en même temps que de la longueur d'onde, on peut expliquer les écarts signalés à la loi simple indiquée plus haut et l'on reconnaît que l'expression $\frac{n^2(n^2-1)}{\lambda^2}$, λ étant la longueur d'onde et n l'indice de réfraction correspondant, se rapproche beaucoup des observations pour les corps que j'ai étudiés.

2° *Rotations négatives des corps magnétiques.* — Les rotations négatives des plans de polarisation de la lumière, qui n'avaient pas été étudiées jusqu'ici, présentent des caractères remarquables. Le bichlorure de titane, qui est incolore, se prête très-bien aux expériences. Les dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau, qui sont très-colorées, ne permettent les observations qu'avec les rayons rouges et jaunes. Si pour ces diverses dissolutions on tient compte de l'action de l'eau, on en déduit un nombre constant qui représente, pour le perchlorure de fer anhydre, le rapport des rotations correspondant à des rayons de mêmes longueurs d'onde. On voit par le tableau précédent que les rotations négatives des substances que nous venons de citer suivent une marche notablement différente de celle des rotations positives des corps étudiés plus haut et correspondent à une dispersion rotatoire considérable, caractéristique des corps magnétiques : j'ai montré, du reste, plus haut que ces corps présentent à un autre point de vue des propriétés spéciales.

La grande dispersion rotatoire du perchlorure de fer se met facilement en évidence en prenant une dissolution ayant une très-faible rotation magnétique positive ou négative pour la lumière jaune. Une dissolution de perchlorure de fer dans l'eau, dont la densité est voisine de 1,155, remplit cette condition. On voit alors la même dissolution être positive pour les rayons rouges et négative pour les rayons verts. Cette expérience curieuse montre bien l'indépendance entre l'action de l'eau et l'action du perchlorure de fer sur la lumière polarisée, ainsi que l'inégale dispersion rotatoire de

ces deux corps. On peut observer que les rotations négatives des corps que nous avons étudiés croissent approximativement en raison inverse de la quatrième puissance des longueurs d'onde, comme on peut le voir dans le tableau précédent.

Les considérations qui viennent d'être exposées montrent que le phénomène de la rotation magnétique est à la fois fonction de la longueur d'onde de la lumière, de l'indice de réfraction et de la nature des molécules des corps. Comme l'indice de réfraction est pour un même corps lié à la longueur d'onde, on voit que, suivant que l'on tiendra ou que l'on ne tiendra pas compte de cet indice, on pourra donner diverses formes à l'expression approchée de la dispersion rotatoire des corps. L'une des expressions les plus simples satisfaisant aux observations faites jusqu'ici est $\frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda^4}$, a et b étant des coefficients dont le signe et la valeur numérique varient avec les divers corps; a est grand et positif pour les corps dont la rotation est positive, b est grand et négatif pour les corps dont la rotation est négative.

Conclusion. — Les conclusions de ce travail sont les suivantes :

1° La rotation positive du plan de polarisation d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant l'unité d'épaisseur d'une substance diamagnétique soumise à l'action du magnétisme, est proportionnelle à la fonction $n^2(n^2 - 1)$ de l'indice de réfraction et à un facteur lié au magnétisme et au diamagnétisme des corps. Ce facteur est d'autant plus grand que les corps sont plus diamagnétiques.

2° Pour les corps d'une même famille chimique ou pour les divers composés d'un même radical chimique, le quotient de la rotation magnétique par la fonction $n^2(n^2 - 1)$ de l'indice de réfraction correspondant est un nombre qui varie très-peu.

3° La nature chimique des molécules des corps intervient directement dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique, et, dans une molécule complexe, il peut y avoir indépendance entre les effets produits par les divers éléments qui la composent.

Dans les disolutions il y a indépendance entre l'action du dissolvant et l'action du corps dissous.

4° Les corps diamagnétiques en dissolution ont des pouvoirs

s'influencer mutuellement d'une façon sensible, la rotation moléculaire est constante, et comment cette rotation augmente lorsque, par suite de la concentration, les molécules se rapprochent de façon à pouvoir réagir l'une sur l'autre.

Ces actions moléculaires ne sont pas proportionnelles aux attractions et répulsions magnétiques ; car, si l'on suppose que les molécules réagissent les unes sur les autres, l'action de chaque molécule sur un point intérieur peut être augmentée sans que l'attraction sur un point extérieur relativement très-éloigné le soit dans la même proportion, cette attraction dépendant de la quantité de magnétisme non dissimulé par les molécules voisines.

Bien plus, certains corps diamagnétiques, tels que le bichlorure de titane, sont négatifs ; mais ils renferment toujours, dans ce cas, un élément très-magnétique. D'autres, tels que le nickel, le cobalt et le manganèse, qui sont magnétiques, sont positifs, et même positifs ou négatifs comme le manganèse, suivant que l'action positive des substances combinées prédomine plus ou moins.

D'une manière générale, cette étude montre que la nature des molécules des corps intervient directement dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique, et que, dans une molécule complexe, il peut y avoir indépendance entre les effets produits par les divers éléments qui la composent.

On peut en conclure que la rotation magnétique du plan de polarisation de la lumière est fonction du magnétisme qui se développe par influence dans les molécules des corps.

3° *Dispersion des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses longueurs d'onde.*— L'étude de la dispersion des plans de polarisation des rayons lumineux de diverses couleurs, pour un même corps, présente un intérêt spécial, parce que, la constitution chimique du corps étudié restant la même, les effets observés doivent être intimement liés à la nature et au mode de propagation des vibrations lumineuses. Le tableau ci-joint renferme les résultats des expériences faites sur plusieurs corps diamagnétiques et magnétiques. Les nombres d'une même colonne verticale se rapportent à une même longueur d'onde et représentent les rapports des diverses rotations à la rotation correspondante pour la lumière jaune D, avec le même corps.

TABLEAU III.

Rotations magnétiques des rayons de diverses longueurs d'onde.

	ROUGE.						JAUNE.	VERT.			BLEU.			
Raies du spectre..............	Raie rouge du lithium.	″	C	″	″	″	D	″	″	E	F	″	″	G
Rapports $\frac{\lambda_D^2}{\lambda^2}$..................	0,7719	0,7970	0,8057	0,8100	0,8210	0,8340	1,0000	1,1940	″	1,2504	1,4694	1,7120	″	1,8712
Rotations magnétiques positives.														
Sulfure de carbone...........	″	0,760	0,771*	0,781	0,790	0,804	1,000	1,236	1,272	1,302*	1,607*	1,976	2,023	2,219*
Eau.........................	″	0,770	″	″	″	″	1,000	″	1,256	″	″	″	1,811	″
Sous-sulfure de phosphore....	0,735	0,755	″	″	″	″	1,000	″	″	″	″	″	″	″
Rotations magnétiques négatives.														
Bichlorure de titane..........	″	″	″	″	″	0,710	1,000	1,370	″	″	″	2,960	″	″
Dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau, contenant: 0,33 de perchl. de fer	″	0,611	″	″	0,661	″	1,000	″	″	″	″	″	″	″
0,60 id.	″	″	″	0,654	0,662	″	1,000	″	″	″	″	″	″	″
0,70 id.	″	″	″	″	0,676	″	1,000	″	″	″	″	″	″	″
0,75 id.	″	″	″	″	0,678	″	1,000	″	″	″	″	″	″	″
Perchlorure de fer anhydre (calculé).................	″	0,647	″	0,659	0,686	″	1,000	″	″	″	″	″	″	″
Rapports $\frac{\lambda_D^4}{\lambda^4}$..................	0,596	0,635	0,649	0,656	0,674	0,695	1,000	1,425	″	″	″	2,930	″	3,501

Nota. — Les quatre nombres marqués d'un astérisque sont empruntés au Mémoire de M. Verdet (*Ann. de Ch. et de Ph.*, 3e série, t. LXIX), et sont placés ici pour servir de points de repère.

La discussion des observations conduit aux conséquences suivantes :

1° *Rotations positives des corps diamagnétiques.* — Les rotations positives des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'onde croissent, comme on le sait, approximativement en raison inverse du carré des longueurs d'onde. Si l'on tient compte de l'indice de réfraction correspondant à chaque rayon, en même temps que de la longueur d'onde, on peut expliquer les écarts signalés à la loi simple indiquée plus haut et l'on reconnaît que l'expression $\frac{n^2(n^2-1)}{\lambda^2}$, λ étant la longueur d'onde et n l'indice de réfraction correspondant, se rapproche beaucoup des observations pour les corps que j'ai étudiés.

2° *Rotations négatives des corps magnétiques.* — Les rotations négatives des plans de polarisation de la lumière, qui n'avaient pas été étudiées jusqu'ici, présentent des caractères remarquables. Le bichlorure de titane, qui est incolore, se prête très-bien aux expériences. Les dissolutions de perchlorure de fer dans l'eau, qui sont très-colorées, ne permettent les observations qu'avec les rayons rouges et jaunes. Si pour ces diverses dissolutions on tient compte de l'action de l'eau, on en déduit un nombre constant qui représente, pour le perchlorure de fer anhydre, le rapport des rotations correspondant à des rayons de mêmes longueurs d'onde. On voit par le tableau précédent que les rotations négatives des substances que nous venons de citer suivent une marche notablement différente de celle des rotations positives des corps étudiés plus haut et correspondent à une dispersion rotatoire considérable, caractéristique des corps magnétiques : j'ai montré, du reste, plus haut que ces corps présentent à un autre point de vue des propriétés spéciales.

La grande dispersion rotatoire du perchlorure de fer se met facilement en évidence en prenant une dissolution ayant une très-faible rotation magnétique positive ou négative pour la lumière jaune. Une dissolution de perchlorure de fer dans l'eau, dont la densité est voisine de 1,155, remplit cette condition. On voit alors la même dissolution être positive pour les rayons rouges et négative pour les rayons verts. Cette expérience curieuse montre bien l'indépendance entre l'action de l'eau et l'action du perchlorure de fer sur la lumière polarisée, ainsi que l'inégale dispersion rotatoire de

ces deux corps. On peut observer que les rotations négatives des corps que nous avons étudiés croissent approximativement en raison inverse de la quatrième puissance des longueurs d'onde, comme on peut le voir dans le tableau précédent.

Les considérations qui viennent d'être exposées montrent que le phénomène de la rotation magnétique est à la fois fonction de la longueur d'onde de la lumière, de l'indice de réfraction et de la nature des molécules des corps. Comme l'indice de réfraction est pour un même corps lié à la longueur d'onde, on voit que, suivant que l'on tiendra ou que l'on ne tiendra pas compte de cet indice, on pourra donner diverses formes à l'expression approchée de la dispersion rotatoire des corps. L'une des expressions les plus simples satisfaisant aux observations faites jusqu'ici est $\frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda^4}$, *a* et *b* étant des coefficients dont le signe et la valeur numérique varient avec les divers corps ; *a* est grand et positif pour les corps dont la rotation est positive, *b* est grand et négatif pour les corps dont la rotation est négative.

Conclusion. — Les conclusions de ce travail sont les suivantes :

1° La rotation positive du plan de polarisation d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, traversant l'unité d'épaisseur d'une substance diamagnétique soumise à l'action du magnétisme, est proportionnelle à la fonction $n^2(n^2-1)$ de l'indice de réfraction et à un facteur lié au magnétisme et au diamagnétisme des corps. Ce facteur est d'autant plus grand que les corps sont plus diamagnétiques.

2° Pour les corps d'une même famille chimique ou pour les divers composés d'un même radical chimique, le quotient de la rotation magnétique par la fonction $n^2(n^2-1)$ de l'indice de réfraction correspondant est un nombre qui varie très-peu.

3° La nature chimique des molécules des corps intervient directement dans le phénomène de la rotation du plan de polarisation de la lumière sous l'influence magnétique, et, dans une molécule complexe, il peut y avoir indépendance entre les effets produits par les divers éléments qui la composent.

Dans les disolutions il y a indépendance entre l'action du dissolvant et l'action du corps dissous.

4° Les corps diamagnétiques en dissolution ont des pouvoirs

rotatoires magnétiques moléculaires sensiblement constants, quelle que soit la concentration des dissolutions.

Les pouvoirs rotatoires magnétiques moléculaires négatifs des corps très-magnétiques croissent au contraire très-vite avec le rapprochement des molécules, dans des dissolutions de plus en plus concentrées, et semblent fonction de l'intensité du magnétisme qui se développe dans les molécules par suite de leurs réactions mutuelles.

5° La dispersion magnétique des plans de polarisation des rayons de diverses longueurs d'onde par les corps très-diamagnétiques est sensiblement proportionnelle à $\frac{n^2(n^2-1)}{\lambda^2}$, λ étant la longueur d'onde et n l'indice de réfraction correspondant.

Pour les corps très-magnétiques ou qui se comportent comme tels avec la lumière polarisée, les rotations négatives croissent approximativement en raison inverse de la quatrième puissance de la longueur d'onde.

On peut, en outre, représenter la dispersion des plans de polarisation de la lumière pour un même corps, par une expression de la forme $\frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda^4}$, a et b variant de grandeur et de signe avec les divers corps ; a est grand et positif pour les corps diamagnétiques, b est grand et négatif pour les corps très-magnétiques.

Ces conclusions viennent à l'appui d'une hypothèse simple qui m'a guidé dans tout ce travail, et qui tendrait à montrer sous une forme nouvelle que les phénomènes magnétiques et diamagnétiques ne constituent pas deux propriétés distinctes des corps, mais sont dus à une cause unique.

On sait que mon père a montré comment on pouvait expliquer les actions magnétiques et diamagnétiques en admettant que les effets observés étaient dus à la différence entre les actions exercées sur les corps et sur le milieu ambiant. Cette théorie implique la seule hypothèse gratuite de supposer que les corps repoussés dans le vide de nos machines sont moins magnétiques que le milieu qui les entoure. On peut admettre que l'éther qui transmet les vibrations lumineuses est lui-même magnétique et plus magnétique que les corps qui seraient repoussés dans le vide le plus parfait de nos

machines. Cette hypothèse se concilierait bien avec les observations.

Supposons, en effet, que sous l'influence magnétique les molécules des corps deviennent individuellement de petits aimants présentant des pôles inverses à ceux de l'électro-aimant, à l'action duquel elles sont soumises. Si ces molécules sont environnées d'un milieu magnétique, l'éther, lorsqu'elles seront moins magnétiques que ce milieu, on peut concevoir que l'action de l'aimant extérieur sur l'éther intermoléculaire soit fonction de la densité de cet éther, c'est-à-dire de l'indice de réfraction, et, comme le magnétisme des corps appelés *diamagnétiques* varie dans des limites étroites, cette fonction de l'indice de réfraction ne doit pas être bien différente pour tous les corps diamagnétiques.

Au contraire, si le corps est très-magnétique, l'action individuelle des molécules sur l'éther intermoléculaire prédominera sur celle de l'aimant extérieur, et le sens de la rotation magnétique sera celui de l'orientation des molécules influencées, c'est-à-dire inverse du sens correspondant aux corps diamagnétiques.

Les expériences avec les dissolutions des chlorures de fer confirment encore cette manière de voir en montrant que, si les molécules magnétiques sont assez rapprochées pour réagir les unes sur les autres, l'effet inverse observé est lié à cette réaction mutuelle.

En résumé, ces recherches expérimentales tendent à montrer que les rotations magnétiques directes et inverses des plans de polarisation de la lumière, de même que les phénomènes appelés *diamagnétiques* et *magnétiques* peuvent se rattacher à une origine commune et sont la manifestation d'une propriété générale des corps, celle de devenir magnétiques. Ces divers corps possèdent cette propriété à un degré plus ou moins grand, et les effets observés peuvent être regardés comme dus à une différence entre les actions magnétiques des molécules des corps et celles du milieu qui les enveloppe.

Solution analytique du problème de la distribution dans un aimant; par M. J. Jamin.

J'ai précédemment étudié par le contact d'épreuve la loi de distribution du magnétisme dans un faisceau de lames superposées ([1]). J'ai trouvé qu'elles gardent toutes un magnétisme égal, c'est-à-dire que le faisceau est uniformément aimanté dans toute sa masse et que la distribution extérieure est donnée par une formule qu'on peut écrire

$$(1) \quad y = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}\left(1 - e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}2l}\right)\left[e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}x} - e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}(2l-x)}\right],$$

A et k étant deux constantes, s, p, $2l$ étant la section, le périmètre et la longueur du barreau. Dans le cas où cette longueur peut être considérée comme infinie, la formule se réduit à

$$(2) \quad y = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}x}.$$

Je vais justifier ces résultats par une théorie.

Je ferai remarquer d'abord que, pour établir les lois de la conductibilité calorifique, Fourier n'eut besoin de faire aucune hypothèse sur la nature de la chaleur : il se contenta d'admettre que la quantité de chaleur qui traverse une tranche intra-moléculaire est proportionnelle à la différence de température des molécules que cette tranche sépare. Plus tard, Ohm ne fit que reproduire la même idée pour découvrir les célèbres lois qui portent son nom; il admit que la quantité d'électricité qui passe à travers une section d'un conducteur est proportionnelle à cette section et à la différence de tension. On va voir que ce même principe transporté au magnétisme conduira avec autant de sûreté aux lois de la distribution dans un barreau.

C'est un fait connu que le magnétisme libre, celui que nous mesurons par les attractions qu'il exerce, se transmet de tranche en tranche. Ainsi, quand on place une armature de fer à l'extrémité d'un barreau de même section, une portion de ce magnétisme

---

([1]) *Comptes rendus*, t. LXX, p. 1553 et t. LXXI, p. 177.

quitte le barreau pour se transporter sur le fer; un état d'équilibre s'établit, et, entre l'acier et le fer, il n'y a qu'une différence de tension infiniment petite dy.

Si donc on considère une section d'un barreau à une distance x de son extrémité, on peut admettre qu'une certaine quantité de magnétisme a été transmise par conductibilité de la distance x à la distance $x + dx$, en prenant des intensités correspondantes y et $y + dy$. J'admettrai, comme l'ont fait Fourier et Ohm dans un autre ordres d'idées, que la quantité de magnétisme M ainsi transmise est proportionnelle à la section s, à la différence des tensions $-dy$ et à un coefficient spécial de conductibilité $\frac{1}{h^2}$.

$$M = -\frac{s}{h^2} dy.$$

On peut dire, pour justifier cette hypothèse, que, si une nouvelle quantité de magnétisme M, s'ajoutant à la première, traversait la tranche considérée, elle déterminerait une nouvelle différence d'intensité dy égale à la première et qui s'ajouterait à elle, de sorte qu'il doit y avoir proportionnalité entre le magnétisme transmis et la différence de tension qui s'établit. On peut dire aussi, d'une manière plus générale, que M est une fonction de dy, qui s'annule en même temps que dy, qu'on peut développer en fonction des puissances croissantes de dy, et qu'on peut ne conserver que le premier terme de ce développement.

On peut dire enfin que les analystes et les physiciens, ayant admis une hypothèse semblable pour l'électricité et la chaleur, ont les mêmes raisons de la considérer comme fondée quand elle se transporte au magnétisme.

Cela étant, reproduisons le raisonnement qu'a fait Fourier pour les barres conductrices.

Prenons deux tranches infiniment voisines placées à des distances de l'extrémité égales à x et à $x + dx$. L'intensité magnétique avant et après la première sera y et $y + dy$; avant et après la seconde, elle sera $y + dy$ et $y + 2dy + \frac{d^2y}{dx^2} dx$; la différence des intensités, pour les points que sépare la première section, sera $-dy$; elle sera $-\left(dy + \frac{d^2y}{dx^2} dx\right)$ pour la seconde; enfin les

quantités de magnétisme transmises sont

$$-\frac{s}{k^2}dy,\quad -\frac{s}{k^2}\left(dy+\frac{d^2y}{dx^2}dx\right);$$

leur différence est

$$\frac{s}{k^2}\frac{d^2y}{dx^2}dx.$$

Or cette différence exprime la quantité de magnétisme libre restée entre les deux sections considérées; celle-ci a une intensité moyenne y, elle est répartie sur une surface $p\,dx$, elle est égale à $py\,dx$, et il faut qu'on ait

$$\frac{s}{k^2}\frac{d^2y}{dx^2}=py,\quad \frac{d^2y}{dx^2}=k^2\frac{p}{s}y=a^2y,$$

et, en intégrant,

(3) $$y=\text{M}e^{ax}+\text{N}e^{-ax}.$$

C'est l'équation de Fourier; elle doit représenter à la fois la température dans une barre chauffée, et l'intensité magnétique dans un barreau.

Pour déterminer les constantes M et N, on commencera par se rappeler que l'intensité magnétique est nécessairement nulle au milieu du barreau à une distance l,

$$0=\text{M}e^{al}+\text{N}e^{-al},\quad \text{M}=-\text{N}e^{-2al},$$

et, en remplaçant dans l'intégrale générale,

(4) $$y=\text{N}[e^{-ax}-e^{-a(2l-x)}],$$

ce qui est la forme de fonction établie pour la première fois par Biot. La constante N va se trouver par d'autres considérations. Étudions d'abord le cas d'un aimant de longueur infinie et uniformément aimanté dans sa masse entière, ce qui est le cas de nos faisceaux de lames. Alors la formule (4) se réduit à son premier terme. La totalité du magnétisme se trouvera en prenant l'intégrale de $y\,dx$ depuis zéro jusqu'à l'infini, et en la multipliant par le périmètre p; d'un autre côté, cette totalité sera proportionnelle au nombre de filets magnétiques que renferme le barreau, qui est proportionnel à la section moyenne s; elle peut se représenter par As.

On a donc la relation de condition

$$\mathrm{A}s = p\int_0^\infty y\,dx = \frac{p\mathrm{N}}{a},$$

d'où

$$\mathrm{N} = \mathrm{A}\frac{s}{p}a = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{p}{s}},$$

et l'équation de la distribution devient la suivante, qui est identique à la formule (2) que l'expérience a donnée :

$$(2) \qquad y = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}\,e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}x}.$$

Supposons maintenant que la barre d'abord infinie soit coupée à une longueur $2l$, tout le magnétisme qui était contenu dans la barre primitive, depuis $2l$ jusqu'à l'infini, ne pouvant plus s'y loger, se transmettra en sens inverse vers l'origine, et s'y transmettra suivant la même loi : ce sera comme s'il se réfléchissait sur lui-même ; c'est ce que l'expérience a démontré. Par conséquent, la courbe du magnétisme austral sera

$$y = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}\left[e^{-ax} + e^{-a(4l-x)}\right].$$

Mais, d'autre part, la courbe de magnétisme contraire, partant de l'extrémité $x = 2l$, sera, au signe près, égale à la précédente, et son équation se trouvera en remplaçant x par $2l - x$,

$$y_1 = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}\left[e^{-a(2l-x)} + e^{-a(2l+x)}\right].$$

La différence $y - y_1$ représentera l'état magnétique de la lame ; elle est égale, en remplaçant a par sa valeur et en réduisant, à l'expression

$$y - y_1 = \mathrm{A}k\sqrt{\frac{s}{p}}\left(1 - e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}2l}\right)\left[e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}x} - e^{-k\sqrt{\frac{p}{s}}(2l-x)}\right],$$

qui est identique à la formule (1), que j'ai expérimentalement établie.

Supposons que la barre soit un cylindre de rayon r, $\sqrt{\frac{p}{s}}$ devient égal à $\sqrt{\frac{2}{r}}$. Posons $k\sqrt{2} = \mathrm{B}$, et nous aurons

$$(5) \qquad y = \frac{\mathrm{AB}}{2}\sqrt{r}\left(1 - e^{\frac{\mathrm{B}}{\sqrt{r}}2l}\right)\left[e^{-\frac{\mathrm{B}}{\sqrt{r}}x} - e^{-\frac{\mathrm{B}}{\sqrt{r}}(2l-x)}\right].$$

Nous avons supposé que la quantité de magnétisme qui passe de x à $x + dx$ est proportionnelle à la différence de tension dy. On pourrait admettre qu'elle est proportionnelle à la fois à dy et au périmètre de la barre; elle serait alors au lieu de $\frac{s}{h^2}dy$, égale à $\frac{s}{k^2}p\,dy$, ce qui reviendrait à dire que le coefficient k^2 n'est point constant, mais qu'il est en raison inverse de p.

Posons $k^2 = \frac{\pi \mathrm{B}^2}{p}$, et l'équation (2) devient, en supposant la barre cylindrique,

$$(6) \qquad y = \frac{\mathrm{AB}}{2}\left(1 - e^{-\frac{\mathrm{B}}{r}2l}\right)\left[e^{-\frac{\mathrm{B}}{r}x} - e^{-\frac{\mathrm{B}}{r}(2l-x)}\right].$$

Or Biot, en s'appuyant sur des considérations tout autres et s'aidant des expériences de Coulomb, a établi autrefois une formule qui ne diffère pas sensiblement de la précédente, et que Green a retrouvée par une analyse plus générale. Cette formule diffère de la mienne en ce que $\mathrm{B}\sqrt{r}$ est remplacé par B. Il est certain qu'elle ne représente pas les intensités telles qu'on les mesure avec le contact d'épreuve; car, si l'on suppose la barre infinie, elle donne à l'extrémité $x = 0$ une intensité $\frac{\mathrm{AB}}{2}$ qui est constante et indépendante du rayon, ce qui est contraire à toutes les expériences. La mienne donne, au contraire, $y = \frac{\mathrm{AB}}{2}\sqrt{r}$, qui croît avec r, comme l'expérience le prouve.

Cependant Biot a établi sa formule d'après les expériences de Coulomb, mais en déterminant les coefficients par la mesure des moments magnétiques, et M. Bouty a fait sur ce sujet un très-grand nombre de vérifications, d'où il faut conclure que la formule (5) exprime les racines carrées des forces d'arrachement et que l'ex-

pression (6) conduit au calcul exact des moments mesurés à distance, comme l'a fait Coulomb. M. Bouty croit avoir trouvé les raisons de cette différence en développant les idées que j'ai précédemment émises sur la conductibilité magnétique : je lui cède la parole.

Sur la théorie du contact d'épreuve; par M. Bouty.

M. Jamin représente les *tensions* magnétiques y aux divers points de barres aimantées saturées, par une formule qui, dans le cas de barres cylindriques de longueur infinie, se réduit à

$$(1) \qquad y = \frac{AB}{2}\sqrt{r}\, e^{-\frac{B}{\sqrt{r}}x}.$$

r est le rayon de la barre, A et B sont les deux constantes.

D'autre part, les expériences de Coulomb ont conduit Biot à représenter les quantités de magnétisme z, que les mêmes barres possèdent, par la formule

$$(2) \qquad z = \frac{A'B'}{2} e^{-\frac{B}{r}x},$$

qui ne peut être identifiée avec la formule (1) pour des valeurs quelconques de r.

La différence des méthodes de mesures, fondées d'une part sur l'action au contact, d'autre part sur la détermination des moments magnétiques, ne suffit pas à rendre compte de la divergence des deux formules. Le but de cette Note est de l'expliquer par des raisons théoriques.

Je me servirai de l'analogie qui est la base de la théorie présentée aujourd'hui par M. Jamin, et je l'appliquerai aux quantités de magnétisme. Quand l'équilibre s'établit entre une barre aimantée et un contact de fer doux qui la touche en un de ses points, les quantités de magnétisme aux divers points du système seront distribuées comme le seraient les températures sur un système identique de deux barres de conductibilité différente. Préoccupons-nous

seulement de la quantité de chaleur qui traverserait, dans cette hypothèse, la surface de contact. Celle-ci représente la quantité de magnétisme dissimulée de part et d'autre de la surface d'adhérence, pour reparaître sur la surface extérieure du fer doux. La tension magnétique, égale par définition à la racine carrée de la force d'arrachement, est mesurée par cette quantité de magnétisme, ou par ce flux de chaleur.

Considérons, dans la barre et dans le fer doux réduit à un simple fil perpendiculaire à la surface de l'aimant, deux surfaces isothermes (isomagnétiques) infiniment voisines, séparées par la surface de contact. Soient σ l'étendue de cette surface, c et c' les quantités qui, dans la barre et dans le fil, jouent le rôle des coefficients de conductibilité. La surface σ reçoit de la barre une quantité de chaleur $-c\sigma\frac{du}{dx}$, en désignant par dx la distance normale à la surface isotherme considérée; elle rayonne de même vers la première surface isotherme de contact $-c'\sigma\frac{du'}{dx'}$, et il faut pour l'équilibre que l'on ait

$$c\frac{du}{dx}=c'\frac{du'}{dx'};\tag{3}$$

et, comme la quantité de chaleur prise par le contact est négligeable, on a aussi

$$u=u'=z.\tag{4}$$

La quantité $-c\frac{du}{dx}$ mesure la tension au point considéré. Rien n'autorise *a priori* à la confondre avec la quantité z.

La distinction des quantités de magnétisme et des tensions est donc parfaitement établie. Ce sont des grandeurs d'ordre différent; mais il pourra paraître utile de déduire la formule (1) des tensions de la formule (2) des quantités sans chercher à résoudre complétement le problème théorique d'où dépend la solution.

Je me bornerai à présenter, à cet égard, les observations suivantes :

1° La quantité c, qui joue le rôle du coefficient de conductibilité des quantités dans une barre cylindrique de diamètre a, est proportionnelle à ce diamètre. Pour s'en convaincre, il suffit d'i-

dentifier la formule (2) à celle qui se rapporte à la conductibilité de la chaleur dans une barre de même section.

2° Bien que l'on ait $u = z$, on n'a certainement pas $\frac{du}{dx} = \frac{dz}{dx}$. La quantité $\frac{dz}{dx}$ est proportionnelle au rayonnement qui s'établit entre deux plans parallèles, infiniment voisins, c'est-à-dire est relative à la propagation s'effectuant dans un sens seulement, de telle sorte qu'une molécule n'a proprement à fournir qu'à une seule molécule. Le coefficient $\frac{du}{dx}$ au voisinage immédiat du contact correspond au contraire à une propagation s'effectuant dans tous les sens; une surface isotherme fournit à une surface d'étendue moindre, et ainsi de suite, jusqu'à zéro. En dehors de tout calcul rigoureux, il semble naturel d'admettre que, si la quantité de chaleur fournie dans le cas de la propagation à une dimension est représentée par une certaine fonction d'un seul paramètre, la quantité fournie dans le cas de la propagation dans tous les sens, à partir d'un point de la surface, est égale à la même fonction de la racine carrée de ce paramètre. On a, d'après (2),

$$(4) \qquad -\frac{dz}{dx} = \frac{A' B'^2}{2r} e^{-\frac{B'}{r}x}.$$

On aurait donc, en désignant par p une constante convenable,

$$(5) \qquad -\frac{du}{dx} = \frac{pA' B'^2}{2\sqrt{r}} e^{-\frac{B'}{\sqrt{r}}x};$$

enfin la tension y serait

$$(1\ ter) \qquad y = -c\frac{du}{dx} = m\sqrt{r}A'B'^2 e^{-\frac{B'}{\sqrt{r}}x}.$$

Cette dernière formule est identique à la formule (1) en posant

$$(6) \qquad \begin{cases} mA'B' = A, \\ B' = B. \end{cases}$$

La théorie du contact d'épreuve, telle que nous venons de l'exposer, indique les limites dans lesquelles la méthode employée pour la mesure des tensions est applicable. Les dimensions trans-

versales du contact doivent être assez petites par rapport à la section de la barre que l'on étudie pour que la quantité de magnétisme qu'il enlève soit négligeable. Les tensions mesurées seront indépendantes de la forme de la section du contact, mais dépendront essentiellement de sa nature. On ne pourra comparer les tensions observées avec le même contact sur deux corps différents, comme le fer et l'acier, qu'à la condition de multiplier l'une d'elles par un coefficient convenable, ainsi que M. Jamin l'a fait observer le premier.

La considération des tensions se présente beaucoup plus simplement que celle des quantités de magnétisme quand on étudie les actions au contact. Il y a donc lieu de conserver dans la Science les deux expressions et de poursuivre par des méthodes différentes l'étude des lois qui régissent les deux ordres de phénomènes.

SÉANCE DU 21 AVRIL 1876.

(Séance de Pâques.)

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

PREMIÈRE PARTIE.

La première partie de la séance a été consacré à la répétition des principales expériences faites dans le courant de l'année. Dans le local de la Société avaient été disposés d'avance les expériences et les appareils ; les auteurs donnaient les explications qui leur étaient demandées :

Entraînement de l'air par un jet d'air ou de vapeur; M. de Romilly.
Mouvement des ondes liquides dans les tubes élastiques; M. Marey.
Appareils de vol mécanique; M. Pénaud.
Nouveau tube spectro-électrique; MM. Delachanal et Mermet.
Expériences sur la conductibilité des minéraux; M. du Moncel.
Manomètre, M. Cailletet.
Galvanomètre pour projections. — Appareil de polarisation; M. Duboscq.
Aimants; M. Jamin.
Appareil photométrique de MM. Dumas et Regnault; M. Deleuil.
Expériences avec les électro diapasons; M. Mercadier.

Expériences sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés ; M. Jannettaz.

Vernis nouveaux pour photomètres et tracé de figures sur verre ; M. Terquem.

Thermomètre à minima ; M. Duclaux.

Réseaux ; M. Cornu.

Boussole ; M. Froment-Dumoulin.

Machine Gramme ; M. Niaudet.

Expérience de Thermodynamique ; M. F. Tommasi.

DEUXIÈME PARTIE.

Sont élus membres de la Société : MM. Gaugain, à Saint-Martin-des-Entrées, par Bayeux (Calvados) ; Jablochkoff, ingénieur à Moscou ; Laroche, ingénieur des Ponts et Chaussées ; Mors, ingénieur, fabricant d'appareils électriques ; de Sourdeval ; Tommasi (Ferdinando), ingénieur.

La Société adopte ensuite un article additionnel aux Statuts qui est présenté par le Conseil :

Les statuts ne pourront être modifiés qu'après deux délibérations du Conseil. Les modifications proposées devront être annoncées un mois d'avance à la Société et seront mises aux voix à la séance générale de Pâques.

M. Violle expose les résultats de ses expériences sur la radiation solaire, et fait voir l'actinomètre dont il s'est servi pour faire ses observations à des hauteurs différentes sur le mont Blanc et au glacier des Bossons.

M. Trannin fait connaître le procédé qu'il a employé pour mesurer les intensités des sources lumineuses en ne comparant entre elles que les régions de même réfrangibilité, et rend compte de la précision que comportent les mesures, soit que l'on compare entre elles des radiations jaunes, soit lorsqu'on opère sur les rayons rouges ou bleus.

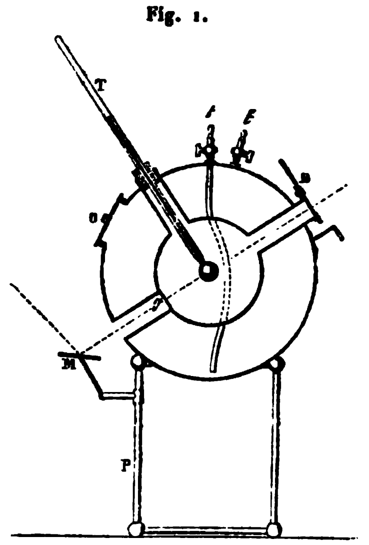
M. Terquem fait connaître un moyen simple d'étudier les figures de M. Lissajous, caractéristiques des divers intervalles musicaux, lorsqu'on donne à la différence de phase des deux mouvements une valeur quelconque.

La séance est levée à 11 heures.

De la température du Soleil; par M. J. Violle.

La quantité de chaleur que le Soleil envoie vers la Terre s'évalue par l'échauffement d'un thermomètre soumis à l'action des rayons solaires. Mais, pour que la mesure de la quantité cherchée soit exacte, il faut que l'échauffement se produise dans des conditions parfaitement déterminées; à cet égard on ne saurait mieux faire que d'adopter absolument les dispositions indiquées par Dulong et Petit dans leur Mémoire sur le rayonnement. C'est ce que je me suis efforcé de faire.

Fig. 1.



Le thermomètre que j'emploie est à réservoir sphérique : le diamètre de la boule varie, suivant les cas, de 5 à 15 millimètres; la tige cylindrique et d'un diamètre intérieur constant s'étrangle extérieurement au voisinage de la boule sur une longueur de 10 à 15 millimètres, de manière à réduire autant que possible l'influence de la conductibilité; les divisions sont de $\frac{1}{5}$ de degré : les lectures se feront donc toujours au $\frac{1}{10}$ de degré dans les circonstances les plus défavorables. Avant chaque expérience, la boule et la portion étranglée de la tige sont soigneusement noircies à la fumée d'une flamme de térébenthine. Le thermomètre T (*fig.* 1) est alors introduit dans une enceinte sphérique en cuivre, recouverte intérieurement de noir

de fumée et maintenue à une température constante. Cette enceinte, dont le rayon est de 15 à 45 fois celui du thermomètre, est en effet enveloppée d'une deuxième sphère en cuivre polie sur sa face externe et protégée en outre par des écrans D qui laissent libre seulement l'ouverture d'admission. Dans l'espace compris entre les deux surfaces circule un courant d'eau, emprunté aux fontaines publiques, ou bien s'entasse de la glace pilée ou du névé, suivant les circonstances : deux tubes à robinet t et t' et une large ouverture à vis O satisfont à l'un ou à l'autre usage. Le rayonnement solaire arrive à la boule thermométrique par une ouverture tubulaire pratiquée dans la double paroi de l'appareil et munie d'un diaphragme à trous de différentes grandeurs : une autre ouverture diamétralement opposée est fermée par un verre dépoli g et légèrement noirci, sur lequel se projette l'ombre du thermomètre, ce qui permet un réglage facile de la boule thermométrique au centre même de l'enceinte. Tout l'instrument repose sur un anneau porté lui-même par quatre pieds ; sur l'un des pieds est articulé un petit miroir M dans lequel se réfléchit l'ombre du thermomètre. L'opérateur peut donc toujours maintenir l'appareil orienté en le faisant graduellement tourner dans l'anneau qui le supporte. On peut aussi se guider, comme dans les héliostats, sur la position de la trace lumineuse du rayon qui a passé par le trou central d'un petit diaphragme monté à l'extrémité d'une tige parallèle au tube d'admission. Ajoutons enfin que cet actinomètre peut se transporter facilement sur les cimes les plus élevées. Le pied se démonte et se loge sous un très-faible volume dans le sac de voyage ; les robinets d'arrivée et de sortie de l'eau servent à attacher une courroie au moyen de laquelle la double boule se porte sur le côté à la manière d'une gourde.

La marche d'une expérience est la suivante : tous les tubes étant soigneusement fermés et le thermomètre en place, on lit la température (laquelle est stationnaire si tout est bien réglé depuis un temps suffisant); puis on ouvre le tube d'admission, après avoir amené en face du tube tel trou du diaphragme que l'on juge convenable. L'appareil étant toujours exactement orienté, on suit la marche du thermomètre avec une montre à secondes, jusqu'à ce que la température soit devenue stationnaire; on supprime alors les rayons solaires par un jeu convenable du diaphragme, et l'on observe le refroidissement de l'appareil.

Je prendrai pour exemple les mesures actinométriques que j'ai effectuées au sommet du mont Blanc (4810^{m}) le 16 août dernier. Elles se résument, pour les deux phases de l'expérience, par une seule formule empirique

$$\theta = \theta_0 (1 - e^{-0,36t}),$$

θ_0 étant la température stationnaire 18°,2 observée à $10^{h}22^{m}$ du matin : l'enceinte était à zéro. L'écart moyen entre les nombres directement observés et les nombres calculés par la formule est 0°,03, l'écart maximum 0°,16.

Soient V la vitesse du réchauffement que le thermomètre éprouve à la température θ sous l'action des rayons incidents et U la vitesse de refroidissement qu'il aurait à cette même température θ si l'on interceptait l'action de la source; d'après la forme même de notre formule empirique et la fidélité avec laquelle elle représente les données immédiates de l'observation, on a

$$V + U = \text{const.}$$

M. Desains a remarqué qu'il devait en être ainsi; en outre, ajoute-t-il, « cette somme constante représente l'action de la source, et, si on la multiplie par la valeur en eau de la portion du thermomètre qui s'échauffe, on a l'expression numérique de la quantité de chaleur qui tombe par l'ouverture d'admission. » (*Comptes rendus*, t. LXXVIII, p. 1455; 1874.)

La valeur M de la portion du thermomètre qui s'échauffait a été déterminée avec beaucoup de soin : on l'a mesurée directement par des expériences de refroidissement, indirectement sur un thermomètre tout semblable à ceux employés et rompu à la naissance de la tige; on a trouvé dans les deux cas

$$M = 0^{gr},222.$$

La quantité de chaleur reçue en une minute par 1 centimètre carré de surface au sommet du mont Blanc, le 16 août 1875, à $10^{h}22^{m}$ du matin, était donc $\frac{(V + U)\,0,222}{s}$, s désignant la surface d'un grand cercle de la boule du thermomètre; ce qui donne, V + U étant égal à 6°,552,

$$q = 2^{c},392.$$

Ce nombre doit être considéré comme la *mesure absolue* du rayonnement solaire au point et à l'instant considérés, les unités adop-

tées étant le centimètre, le gramme, la minute et le degré centigrade.

Tandis que j'étais au sommet du mont Blanc avec mon préparateur, M. Rigollot, qui m'a aidé dans toutes ces recherches avec un zèle et un dévouement absolus, M. Margottet effectuait au glacier des Bossons (1200^m) des mesures analogues à celles que nous prenions au sommet. Ces mesures se résument également par une exponentielle où le coefficient de t est égal à 0,40; l'erreur moyenne entre le calcul et l'observation est 0°,02, l'erreur maxima 0°,16. On a donc encore

$$V + U = \text{const.}$$

et cette constante est ici égale à 5°,540, l'excès stationnaire observé à $10^h 22^m$ étant 13°,85. On en déduit

$$q = 2^c,022.$$

Le lendemain, 17 août, j'étais aux Grands-Mulets (3050^m), presque exactement à moitié chemin de la distance comprise entre la cime et la station choisie par M. Margottet sur le glacier des Bossons. Les observations que j'y fis et celles qui furent recueillies au pied de la montagne donnent à $10^h 40^m$ du matin :

Aux Grands-Mulets........ $q = 2,057$
Aux Bossons.................. $q = 1,864$.

Les valeurs de l'excès stationnaire avaient été respectivement 16°,10 et 13°,1 et les coefficients de t dans l'exponentielle par laquelle se représentent toujours aussi fidèlement les résultats 0,35 et 0,38.

L'air était plus humide, par suite les excès moindres et le refroidissement plus lent que la veille.

$V + U = \tau$ est, dans chaque cas, l'excès qu'accuserait au bout d'une minute sous l'influence de la radiation solaire le thermomètre entièrement soustrait au refroidissement. D'après la formule de Bouguer, admise par Pouillet, on devrait avoir

$$\tau = ap^{\varepsilon},$$

a étant la constante solaire, ε l'épaisseur de la couche d'air traversée par les rayons et p un paramètre dépendant de l'état de l'atmosphère au jour considéré.

Cette formule suppose essentiellement que les conditions météorologiques de l'atmosphère sont restées les mêmes pendant toute la journée d'observation, ce qui ne doit se présenter que très-rarement et ce que l'on n'a aucun moyen de reconnaître avec certitude, puisqu'il ne s'agit pas ici de l'état de l'atmosphère au niveau du sol, mais bien de l'état de toute la colonne d'air traversée par les rayons solaires, depuis les limites de l'atmosphère jnsqu'à la terre, Aussi Pouillet, dans une série de mesures s'étendant à plusieurs années, ne trouve-t-il que quelques rares journées pour lesquelles la formule représente bien les faits.

Des observations, antérieures à celle que je viens de rapporter, m'ont conduit à substituer à la formule de Bouguer celle-ci,

$$\tau = ap^{\frac{H+(Z-z)Kf}{760}\epsilon},$$

qui se réduira à la précédente si la hauteur H du baromètre et la tension moyenne de la vapeur d'eau dans toute la colonne atmosphérique ne changent pas sensiblement dans la journée entière. Dans ma formule, p est un nombre constant, z l'altitude du point considéré, Z l'altitude de la couche à partir de laquelle l'air peut être considéré comme absolument sec, K une constante.

Les expériences précédemment citées, rapprochées des données météorologiques aux lieux et heures considérés, suffisent à déterminer les constantes de la formule; on en déduit les valeurs de a et de Q

$$a = 6^{\circ},958,$$

d'où

$$Q = 2^{c}, 540,$$

Q désignant la quantité de chaleur tombant pendant une minute sur 1 centimètre carré à la limite de l'atmosphère. La même valeur a été trouvée dans des expériences faites sur divers sommets des Alpes du Dauphiné.

On trouve de même pour les quantités de chaleur reçues par une même surface de 1^{cq} en une seconde aux diverses altitudes :

A la Cime du mont Blanc.............	2,392
Aux Grands-Mulets.................	2,262
Au glacier des Bossons..............	2,022
Au niveau de Paris..................	1,745

Ainsi le 16 août 1875, à $10^{h}\,22^{m}$ du matin, Paris ne recevait

guère que les $\frac{2}{3}$ de la chaleur que lui envoyait le Soleil; et, dans l'absorption exercée par l'atmosphère, l'effet dû à la vapeur d'eau était presque cinq fois plus considérable que celui de l'air lui-même, si notre formule est exacte.

Un thermomètre placé dans le vide et soumis par conséquent à la seule influence du rayonnement arriverait au bout d'un certain temps à un excès stationnaire, indépendant de l'instrument employé et facile à calculer quand on connaît la vitesse de refroidissement du thermomètre dans le vide. Cette vitesse pour notre thermomètre est $0,22\theta$: l'excès observé dans le vide à la limite de l'atmosphère aurait donc été, l'enceinte maintenue à zéro,

$$\Theta = 31^\circ,63.$$

On trouve de même :

	Valeur de Θ.
A la cime du mont Blanc..............	29,78
Aux Grands-Mulets....................	28,18
Au glacier des Bossons......	25,18
Au niveau de Paris....................	21,73

Ces nombres sont évidemment proportionnels aux valeurs déjà citées plus haut; et le coefficient de proportionnalité, indépendant des instruments employés, est, d'après les nombres précédents, égal à 13 environ. Je dois ajouter toutefois que la valeur exacte de ce coefficient est probablement un peu plus élevée, toutes les causes d'erreur tendant à faire trouver pour Θ des nombres trop faibles.

La température du Soleil se déduit immédiatement des recherches précédentes si l'on admet la loi de Dulong et Petit sur le rayonnement. On trouve ainsi, pour la température effective du Soleil, 1500 degrés (j'appelle température effective du Soleil la température qu'il devrait posséder, s'il était doué du pouvoir émissif maximum, pour émettre une quantité de chaleur précisément égale à celle qu'il nous envoie).

Mais ce calcul de la température effective est fondé sur la loi de Dulong et Petit, et, dans ces dernières années, plusieurs physiciens ont nié cette loi pour les températures élevées, c'est-à-dire pour le cas même qui nous occupe. Remarquons, cependant, que Dulong et Petit ont vérifié l'exactitude de leur loi jusqu'à la plus haute température qu'ils aient réalisée (300 degrés), et que, par conséquent, il

est assez naturel d'admettre cette loi pour toute température, jusqu'à ce que des expériences directes nous aient fait connaître le mécanisme du rayonnement des sources à haute température. Ces expériences, je les ai entreprises, mais je ne suis pas encore en mesure de me prononcer sur une question aussi difficile.

A défaut d'expériences directes, je puis toutefois, dès maintenant, invoquer deux séries de recherches par lesquelles j'ai tenté de contrôler l'évaluation relativement basse de la température solaire à laquelle on arrive par l'application de la loi de Dulong et Petit.

Je citerai, en premier lieu les mesures par lesquelles j'ai cherché à vérifier si une source de chaleur terrestre donnerait avec mon appareil un effet comparable à celui que produit le Soleil. Ces mesures ont été faites à Allevard; la source de chaleur était la coulée d'acier d'un four Martin-Siemens. Je me suis trouvé à Allevard à une époque où, en vue de la fabrication de ces énormes roues dont on munit maintenant les locomotives à grande vitesse, la coulée qui se renouvelait toutes les douze heures se partageait seulement en cinq ou six temps, employés chacun à remplir un moule de 500 kilogrammes. Le remplissage d'un pareil moule demandait environ $1^m 30^s$; je pouvais donc faire arriver sur l'actinomètre pendant un temps connu, une minute, la radiation de la veine liquide incandescente qui s'échappait verticalement d'un orifice carré placé au-dessus du moule. Les différentes mesures que j'ai faites pendant deux journées consécutives étant parfaitement concordantes, je ne citerai qu'une seule observation, qui m'a fourni, l'appareil fermé, $14^\circ,4$ et, l'appareil ouvert à la radiation, $15^\circ,7$. De ces données on tire facilement

$$\alpha^x = 3500 \quad \text{et, par suite,} \quad x = 1063^\circ,$$

α^x étant la radiation de la surface incandescente et x ce que j'ai appelé la *température effective*, c'est-à-dire la température que devrait posséder le corps pour que, doué d'un pouvoir émissif égal à l'unité, il rayonnât avec la même intensité que celle avec laquelle il rayonne réellement.

Or la température vraie, le métal ayant déjà coulé depuis sa sortie sur une longueur d'environ $0^m,50$, peut être évaluée avec une très-grande approximation à 1500 degrés. Appelons T cette

température, on aurait, en désignant par E le pouvoir émissif de l'acier en fusion,

$$E\alpha^T = \alpha^x, \quad \text{d'où} \quad E = 0{,}037,$$

valeur parfaitement admissible d'après les expériences de MM. de la Provostaye et Desains. Cette valeur est d'ailleurs confirmée par ce fait que, si nous supposons à la fonte en fusion précisément ce même pouvoir émissif, les mesures directes que j'ai faites sur la coulée de fonte du haut-fourneau d'Allevard donnent pour cette fonte, à 1 mètre environ du trou de coulée,

$$x = 832° \quad \text{et} \quad T = 1300°,$$

ce qui est bien d'accord avec les nombres de M. Grüner. Tous ces calculs étant basés sur l'hypothèse de la constance de α dans l'expression $M\alpha^T$ de l'intensité du rayonnement, cet accord ne paraîtra pas sans doute sans importance au point de vue de l'exactitude de la loi de Dulong aux températures élevées.

Il est facile de vérifier que les résultats obtenus avec le Soleil d'une part et l'acier en fusion d'autre part sont bien entre eux dans le rapport qu'exigent mes idées sur la température du Soleil. Sans recourir à aucun calcul et en empruntant seulement aux expériences sur la radiation solaire l'une d'entre elles, à la date du 6 septembre 1874, $2^h\ 15^m$, dans laquelle le thermomètre est monté en une minute de $4°{,}2$, on voit que dans le même temps, une minute, le thermomètre accuse sous l'influence du rayonnement solaire un excès de température environ trois fois et demie plus considérable que celui dû à l'action de l'acier au sortir du four Martin-Siemens; et, si l'on admet entre l'intensité d'une radiation et son effet actinométrique une proportionnalité qui ne peut pas être bien éloignée de la vérité, tant que l'on se renferme entre des limites suffisamment étroites, on peut déterminer immédiatement la température qu'il faudrait attribuer à la surface du Soleil pour qu'elle donnât lieu à une radiation trois fois et demie plus intense que celle de l'acier à 1500 degrés. On trouve ainsi, dans l'hypothèse d'un pouvoir émissif maximum, comme *température effective* du Soleil, 1600 degrés environ, c'est-à-dire un nombre presque rigoureusement égal à celui que j'ai été conduit à admettre comme résultat des mesures directes de la chaleur solaire.

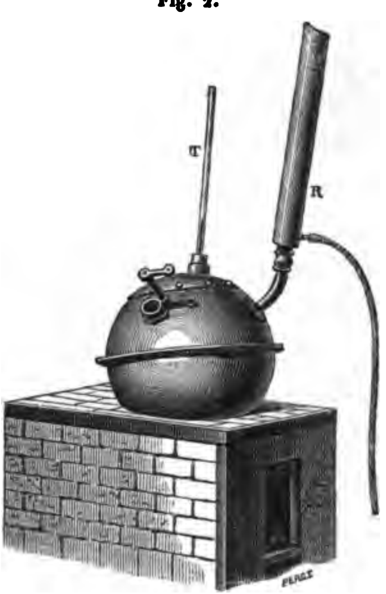
Si maintenant, nous rappelant le fait extrêmement important, mis en évidence par M. Hirn, de la grande transparence des gaz incandescents, nous supposons que la surface du Soleil rayonne comme un bain de métal en pleine fusion, les expériences précédentes nous fourniront le moyen d'obtenir avec une certaine exactitude la température de ce bain métallique. Nous en avons pu déduire, en effet, pour l'un des métaux les plus importants du globe solaire, le pouvoir émissif déterminé, sinon peut-être avec une très-grande précision, du moins (ce qui est surtout important pour le but spécial que nous poursuivons en ce moment) dans les conditions mêmes d'expérimentation adoptées pour l'étude de la radiation solaire. Si l'on accepte cette détermination comme donnant une valeur probable du pouvoir émissif de la surface du Soleil, on aura pour la température moyenne vraie de cette surface $T = 2000°$ en nombre rond.

Mais le pouvoir émissif moyen de la surface solaire est encore inférieur à 0,04 ; d'après les expériences auxquelles j'ai fait allusion plus haut, je suis conduit à l'estimer sensiblement moindre; cette évaluation nouvelle conduit à $T = 2500°$. Ce chiffre 2500 degrés doit être très-voisin de la vérité, parce qu'une variation même considérable du pouvoir émissif (une variation du simple au double par exemple) n'entraîne à ces hautes températures qu'une variation insignifiante du nombre de degrés obtenus. Nous resterons donc toujours forcément en face d'une température moyenne sensiblement égale à 2500 degrés. J'insiste sur ce mot de température moyenne, parce que c'est la température moyenne seule que j'ai essayé de déterminer, et que certains points de la surface du Soleil peuvent parfaitement être à une température notablement plus élevée, de même que les volcans en ignition constituent à la surface de notre globe des régions dont la température est bien supérieure à la température moyenne de la croûte terrestre. C'est donc la température moyenne du Soleil que je dis être de 2500 degrés, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que celles que nous savons produire sur notre globe.

Les éléments constitutifs du Soleil étant d'une manière générale les mêmes que ceux de notre planète, tout esprit non prévenu admettra volontiers qu'en effet la température du Soleil soit compa-

rable à celle des sources terrestres. Cette proposition, d'ailleurs, est directement vérifiable par l'expérience. Il suffira, comme l'a indiqué M. Waterston, de faire varier la température de l'enceinte dans laquelle se trouve le thermomètre soumis à la radiation solaire. Si la température du Soleil est infiniment grande par rapport à celles dont nous pouvons disposer, l'excès accusé par le thermomètre restera constant. Si, au contraire, la température du


Fig. 2.



Soleil est comparable à celle des sources terrestres, l'excès thermométrique sera d'autant plus faible que la température de l'enceinte sera elle-même plus élevée ; en particulier, l'action du Soleil sur le thermomètre n'amènerait plus aucune augmentation dans le nombre de degrés marqués par l'instrument, si l'enceinte avait déjà la température du Soleil.

J'ai donc opéré dans un appareil à double enveloppe comme celui de la *fig.* 1, porté à des températures élevées (*fig.* 2), et, contrairement à ce qui devrait se passer dans le cas d'une température infinie du Soleil, j'ai vu décroître la valeur absolue de l'excès indiqué par l'instrument au fur et à mesure que j'élevais la température de l'enceinte. Le décroissement, toutes réserves faites sur la variation des

chaleurs spécifiques, est déjà très-sensible pour des températures de 100 à 150° seulement; et le calcul appliqué à ces nouvelles expériences nous ramène encore à la même valeur 2500° de la température moyenne de la surface du Soleil.

Il faut donc de toute nécessité renoncer à ces millions de degrés par lesquels plusieurs physiciens croyaient encore récemment pouvoir représenter la température du Soleil, et se ranger à l'idée d'un soleil chaud de quelques milliers de degrés seulement. Telle est, du moins je l'espère, la conclusion que l'on tirera de cet ensemble de recherches par lesquelles j'ai tâché, en multipliant les expériences et variant les méthodes, de hâter la solution de ce difficile mais séduisant problème de physique cosmique.

Appareil pour démontrer les propriétés principales des courbes acoustiques; par M. A. Terquem.

Les propriétés géométriques des courbes dues à la coexistence de deux mouvements vibratoires perpendiculaires ont été étudiées par MM. Lissajous et Melde. M. Lissajous a, en outre, fait remarquer qu'on peut remplacer l'un des mouvements vibratoires (supposés pendulaires) par un mouvement de rotation uniforme sur une circonférence, l'autre mouvement pendulaire concomitant s'exécutant suivant la perpendiculaire au plan de cette circonférence menée par le centre de cette dernière.

Pour trouver le mouvement résultant du mouvement de rotation et du mouvement rectiligne, on peut admettre que ce dernier s'effectue suivant les génératrices du cylindre ayant la circonférence pour base, et, par suite, la molécule vibrante ferait, pendant le même temps, *m fois le tour du cylindre* tout en exécutant *n oscillations à sa surface.* On obtient ainsi une courbe tracée à la surface du cylindre que je désignerai *sous le nom de courbe cylindrique* et dont la projection sur l'un des plans diamétraux du cylindre reproduit la courbe plane due à la composition des deux mouvements vibratoires. Or la forme de cette dernière courbe dépend des nombres m et n des vibrations simultanées et de la différence de leurs phases, tandis que la courbe cylindrique est indé-

pendante de cette dernière quantité; on obtient en effet toutes les courbes planes dues aux différences de phases, en projetant la courbe cylindrique successivement sur tous les plans diamétraux du cylindre. Si l'on étudie les propriétés géométriques de la courbe cylindrique, on pourra en déduire, plus facilement que par les méthodes indiquées, les propriétés des courbes planes. Je me contenterai, dans cet exposé, de résumer les propriétés principales des courbes cylindriques et des courbes planes, étudiées avec plus de détail dans un autre travail.

1. *Propriétés des courbes cylindriques.* — Si la molécule fait n oscillations sur la surface du cylindre parallèlement à son axe, la courbe cylindrique est formée de n parties identiques, quel que soit le nombre m des rotations exécutées dans le même temps.

2. Chacune de ces parties ou figure élémentaire peut être tracée sur la surface développée du cylindre, en divisant une sinussoïde en m parties par des ordonnées équidistantes et faisant glisser ces segments de courbe parallèlement à eux-mêmes, de manière à les renfermer entre deux ordonnées voisines.

3. La génératrice passant par le milieu de chaque figure élémentaire est un axe de symétrie ainsi que celles qui la limitent.

4. Si m ou le nombre des rotations est pair, la figure élémentaire est composée de deux parties symétriques par rapport à la circonférence de base de cylindre.

5. Si m est impair, il n'en est plus de même; mais il y a dans chaque figure élémentaire des centres, aux points $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de la partie de la circonférence de base renfermée dans la figure élémentaire (supposée développée). De ces propriétés on déduit, par des considérations géométriques de la plus grande simplicité, les propriétés suivantes des courbes planes, déjà indiquées pour la plupart dans les travaux antérieurs.

Propriétés des courbes planes. — Les équations des deux mouvements perpendiculaires qui se composent sont

$$x = a \cos 2\pi m (t + \delta) = a \cos 2\pi (mt + \Delta),$$
$$y = b \cos 2\pi nt;$$

avec m, $\delta = \Delta$.

1. La différence de phase δ ne doit varier que de zéro à $\frac{1}{n}$ ou Δ de zéro à $\frac{1}{mn}$ pour reproduire toutes les figures dues à la composition des deux mouvements vibratoires.

2. La courbe est renfermée dans un rectangle dont les côtés sont parallèles à l'axe des x et des z; il y a n contacts sur les côtés parallèles à l'axe des x et m sur les côtés parallèles à l'axe des z.

3. Dans toutes les figures correspondant au même intervalle $\frac{n}{m}$, les ordonnées et les abscisses restent les mêmes; la seule différence est due au mode de groupement de ces coordonnées.

4. Il existe en général $2mn - (m + n)$ intersections situées sur des parallèles à l'axe des x et des z; certaines de ces parallèles se déplacent quand Δ varie; d'autres restent fixes.

5. Si l'on a m pair et n impair, l'axe des x est un axe de symétrie; si l'on a n impair et m pair, l'axe des z est un axe de symétrie, quel que soit Δ; l'autre axe en général n'est pas un axe de symétrie.

6. Si m et n sont impairs, la courbe en général n'a plus d'axes de symétrie, mais l'origine des coordonnées en est le centre.

7. Pour $\Delta = 0$ et $\Delta = \frac{1}{2mn}$, la figure est simplifiée par la superposition de deux parties identiques.

8. Pour $\Delta = \frac{1}{4mn}$ et $\frac{3}{4mn}$, la figure est symétrique par rapport aux deux axes quels que soient m et n.

9. Pour $\Delta = \Delta_1$ et $\Delta = \frac{1}{mn} - \Delta_1$, on a les mêmes courbes parcourues en sens contraires.

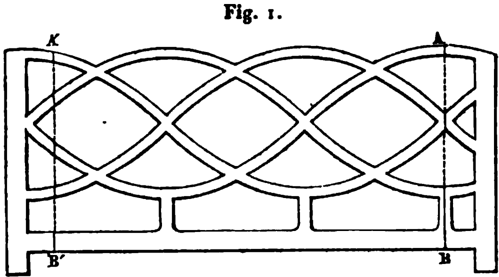
10. Pour $\Delta = \frac{1}{4mn} \pm \Delta_1$, les deux courbes sont différentes; si m est pair et n impair, elles sont disposées symétriquement par rapport à l'axe des z; si m est impair et n pair, elles sont symétriquement placées par rapport à l'axe des x; si m et n sont impairs tous deux, elles sont disposées symétriquement par rapport aux deux axes à la fois.

Pour mettre en évidence les propriétés des courbes cylindriques et faire voir comment s'en déduisent celles des courbes planes, j'ai exécuté en relief les courbes cylindriques correspondant aux intervalles : 1 : 1, 1 : 2, 2 : 1, 2 : 3, 3 : 2, 3 : 4, et 4 : 3. (Le premier chiffre donne le nombre des rotations autour du cylindre, et le second celui des oscillations sur sa surface.)

Dans ce but, j'ai pris un cylindre de bois parfaitement tourné, ayant un diamètre de 52 millimètres, et une hauteur de 1 décimètre environ; la longueur de la circonférence de base développée est égale à $l = 164^{mm}$. J'ai tracé ensuite par points sur du carton mince, des demi-sinussoïdes ayant toutes une ordonnée maxima égale à 26 millimètres et pour base de la sinussoïde entière, $l, 2l, \frac{l}{2}, \frac{3l}{2}, \frac{2l}{3}, \frac{4l}{3}, \frac{3l}{4}$. J'ai découpé le carton suivant la courbe tracée, en ajoutant une petite portion de chaque côté, et j'ai obtenu ainsi des patrons permettant de tracer avec une grande netteté les courbes cylindriques développées.

J'ai dessiné de cette façon ces courbes sur du papier bristol, et tracé ensuite deux traits équidistants à 2 millimètres de part et d'autre, de manière à obtenir une bande ayant une largeur de 4 millimètres. J'ai fait découper en cuivre mince les bandes ainsi tracées; la *fig.* 1 représente un de ces patrons de cuivre découpé correspondant à l'intervalle $\frac{4}{3}$.

Fig. 1.

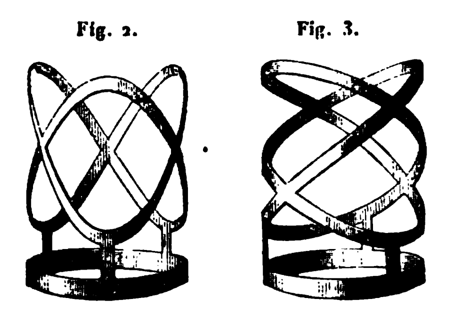


Avec ces patrons, il devient très-facile de tracer ces bandes sinussoïdales sur une feuille de carton ou de papier bristol, avec un crayon fin. On découpe le dessin suivant les traits, et avec un canif on amincit les parties des bandes AB et A'B' qui doivent être superposées. Après avoir mouillé le carton découpé, on le place sur le cylindre de bois et on lui donne la courbure cylindrique en le

fixant, à l'aide d'un cordon qui fait plusieurs fois le tour du cylindre et que l'on serre fortement. Quand le carton est sec et a pris la forme cylindrique, on colle avec de la gomme les parties des bandes qui se superposent, et, peu de temps après, on enlève du cylyndre le relief de carton; dans la circonférence de base, on fixe un disque de carton égal au cercle de base du cylindre; on passe ensuite sur le carton une ou deux couches de colle forte très-étendue, puis deux couches de vernis noir dit *vernis japonais*.

Les *fig.* 2 et 3 représentent les reliefs correspondant aux intervalles 2 : 3 et 3 : 2.

Fig. 2. Fig. 3.



Pour démontrer, à l'aide de ces reliefs, les propriétés de leurs projections ou des courbes planes, on les place sur un support qui se compose d'une tige creuse verticale, terminée à la partie supérieure par un cadran divisé horizontal. Sur un disque mobile autour d'un axe vertical mobile dans la tubulure centrale, on place successivement les divers reliefs de carton; une aiguille, qui parcourt les divisions du cadran, indique les angles dont on a fait tourner le relief pour examiner ses projections. On observe ces dernières directement, en plaçant l'œil à la hauteur du cylindre, à une certaine distance, et mettant de l'autre côté une feuille de papier blanc.

Pour effectuer cette projection sur un écran, on place le relief dans un faisceau cylindrique de rayons lumineux suffisamment large; au delà, on place une lentille convergente à foyer assez long (de 20 à 25 centimètres) et d'une grande ouverture (un objectif de photographie, plaque entière, convient parfaitement dans ce but). Pour indiquer sur la projection elle-même la position du relief, on peut fixer sur un des sommets de la courbe cylindrique une petite tige mince verticale; la position de cette tige sur la pro-

jection sert à faire voir immédiatement les relations qui existent entre la forme de la courbe plane et la position de la courbe cylindrique. On reconnaît ainsi immédiatement que, si la courbe cylindrique est due à *n* oscillations et *m* rotations, pour un tour entier du cylindre, on obtient *n* fois la même série de courbes planes, ce qui démontre que, pour ces dernières, la différence de phases Δ ne doit varier que de *zéro* à $\frac{1}{mn}$ pour obtenir toutes les courbes dues au même intervalle.

Mesures photométriques dans les différentes régions du spectre; par M. H. Trannin.

Si l'on considère la mesure des intensités lumineuses à un point de vue général, on est arrêté de suite par l'impossibilité où l'on est, dans l'état actuel de nos connaissances, d'établir une comparaison entre deux sources lumineuses présentant des compositions spectrales différentes. L'œil, en effet, ne peut établir une comparaison entre les intensités de deux lumières, qu'autant que ces lumières sont blanches ou présentent des compositions spectrales identiques. Si les lumières émettent des radiations d'intensités et de qualités différentes, l'œil devient inapte à former un jugement précis sur ces intensités, absolument comme l'oreille qui ne peut juger exactement les intensités de deux sons de hauteurs différentes.

La solution complète du problème de la comparaison de deux sources lumineuses différemment colorées exigerait que l'on pût déterminer : 1° l'intensité de la sensation résultant de l'action sur le sens visuel de chaque radiation, en fonction de sa force vive et de sa longueur d'ondulation; 2° l'intensité de la sensation résultant de la composition des sensations partielles, dues à chaque radiation. Ce problème, un des plus vastes et des plus difficiles qu'on puisse poser à la Physiologie, n'a guère été abordé jusqu'à présent que sous une de ses faces : « Intensité de la sensation en fonction de l'intensité de l'excitation (1). »

---

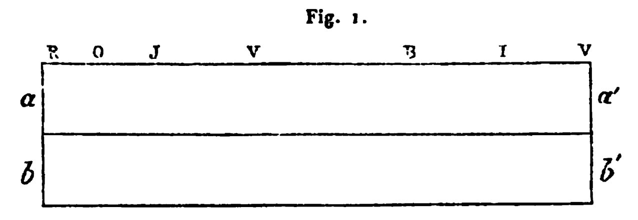
(1) *Voir* les travaux de MM. Weber, Fechner, Helmholtz, Purkinge, Dose, Delbœuf.

J'ai restreint le problème général de la comparaison des sources lumineuses colorées à la mesure des intensités relatives des radiations de même longueur d'ondulation, prises dans des lumières de composition différente. La méthode que j'ai employée dans ce but consiste dans la superposition des spectres des lumières à comparer, et dans la production, dans ces spectres, de bandes d'interférence qui disparaissent dans une région déterminée de la partie commune aux deux spectres, quand les radiations qui constituent cette région ont des intensités égales.

I. *Description de la méthode.* — Les rayons des deux lumières A et B à comparer sont dirigés par de petits prismes à réflexion totale, sur la fente du collimateur d'un spectroscope; les rayons de la lumière A éclairent la moitié supérieure de la fente et les rayons de B la moitié inférieure.

On aperçoit alors dans la lunette du spectroscope deux spectres lumineux, placés l'un au-dessus de l'autre (*fig.* 1) et correspondant,

Fig. 1.



l'un (a) à la lumière A, et l'autre (b) à la lumière B. Avec cette disposition expérimentale ([1]), la comparaison directe des intensités des diverses radiations ne comporte que peu de précision; aussi ai-je fait appel aux phénomènes si précis de la polarisation pour juger de l'égalité de deux radiations. Pour cela, entre le collimateur et le prisme dispersif du spectroscope sont placées les pièces suivantes : un prisme de Foucault, une lame de quartz parallèle à l'axe et un prisme de Wollaston.

Le prisme de Foucault polarise dans un plan horizontal les rayons lumineux parallélisés par le collimateur; le quartz taillé parallèlement à l'axe introduit une différence de marche considérable entre les rayons ordinaire et extraordinaire qui s'y forment; le prisme de Wollaston joue un double rôle analogue à celui du prisme biréfrin-

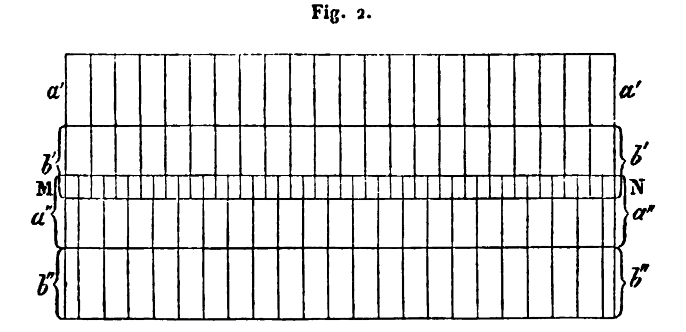
([1]) Vierordt, *Poggendorff's Annalen*, t. CXL, p. 172.

gent dans le photomètre de M. Jamin : il ramène dans deux plans rectangulaires toutes les vibrations lumineuses, et de plus dédouble les images de chacune des moitiés de la fente, qui doivent se former au plan focal de l'objectif.

Les conditions nécessaires pour la production des spectres cannelés par la méthode de MM. Fizeau et Foucault sont ainsi réalisées.

Au lieu des deux spectres *a* et *b* de la *fig.* 1, on voit alors dans la lunette quatre spectres cannelés (*fig.* 2), *a'* et *b'* polarisés dans

Fig. 2.



le plan horizontal, et *a''* et *b''* polarisés dans le plan vertical. A cause de la rectangularité des plans de vibration de ces deux systèmes de spectres, les maxima brillants des bandes d'interférence de *a'* et *b'* seront sur le prolongement des minima des bandes de *a''* et *b''* et inversement; de plus ces deux systèmes coïncideront en partie par suite de l'angle de duplication du prisme de Wollaston. La partie MN commune aux deux spectres *b'* et *a''* est formée par la superposition de deux systèmes de bandes d'interférence, provenant chacun d'une des lumières soumises à l'expérience, et ces systèmes alternent l'un avec l'autre. C'est en obtenant la disparition complète de ces bandes d'interférence, dans la région du spectre considérée, que l'on juge de l'égalité des radiations qui constituent cette région.

Je fais varier les intensités des faisceaux lumineux, soit en changeant les distances des lumières à la fente, soit en interposant entre le prisme de Wollaston et les prismes dispersifs un prisme de Foucault, qui, par une rotation convenable, ramène à l'égalité les deux faisceaux lumineux polarisés à angle droit, issus du prisme de Wollaston.

Dans cette méthode, l'œil n'a à considérer que l'existence ou l'absence de bandes d'interférence, et l'on sait que ces phénomènes sont perçus avec une très-grande exactitude.

II. *Erreur probable.* — Avant d'appliquer cette méthode à l'étude des lumières colorées, j'ai cherché à connaître le degré de confiance que je pouvais lui accorder; je fis pour cela une grande quantité d'observations dans les différentes parties du spectre, et je reconnus que les coefficients de précision des observations varient avec la longueur d'ondulation, et que ces coefficients, très-élevés pour les rayons voisins du jaune, diminuent rapidement de valeur quand on s'approche des extrémités du spectre.

Avant d'entrer dans le détail de ces expériences, je crois devoir rappeler ce qu'on entend par coefficient de précision d'une série d'observations et par l'erreur probable d'une détermination.

Quand on répète plusieurs fois la même observation dans des circonstances aussi près d'être identiques que possible, on obtient généralement des résultats numériques différents. La valeur qui se rapproche le plus de la valeur cherchée inconnue est donnée, comme on le sait, par la moyenne arithmétique de toutes les valeurs fournies par l'expérience; de plus, l'exactitude de cette moyenne croît comme la racine carrée du nombre des observations.

Si l'on fait la différence de chacune des valeurs partielles avec la moyenne, on obtient une série d'écarts dont la somme algébrique est égale à zéro, et qui, au premier abord, ne semblent obéir à aucune loi; mais, à mesure que le nombre des observations augmente, on observe que les écarts les plus petits sont les plus nombreux, et le calcul et l'expérience s'accordent à montrer que les erreurs ou écarts (¹) se répartissent toujours suivant la loi de possibilité exprimée par la formule

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 x^2},$$

dans laquelle, h représentant un paramètre variable avec la nature des observations, y est la probabilité d'une erreur de grandeur x.

La probabilité P_a, qu'une erreur x soit comprise entre zéro et a

(¹) On suppose que les erreurs systématiques ont été éliminées par des corrections expérimentales convenables

pour une espèce déterminée d'observations, est donnée par l'intégrale

$$(1)\qquad P_a = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_0^a e^{-h^2x^2} dx;$$

P_a représente encore le nombre d'erreurs comprises entre zéro et a, l'unité représentant la somme de toutes les erreurs possibles dans cette espèce d'observations.

Pour une autre espèce d'observations, la probabilité $P_{a'}$ qu'une erreur x' soit comprise entre zéro et a' sera semblablement

$$(2)\qquad P_{a'} = \frac{h'}{\sqrt{\pi}} \int_0^{a'} e^{-h'^2x'^2} dx'.$$

Faisons $hx = h'x' = t$, les expressions (1) et (2) deviennent

$$P_a = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{ah} e^{-t^2} dt,$$

$$P_{a'} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^{a'h'} e^{-t^2} dt.$$

Pour que ces expressions soient égales, il faut qu'on ait

$$ha = h'a';$$

et, comme on a de plus

$$hx = h'x',$$

on en déduit

$$\frac{a}{x} = \frac{a'}{x'}.$$

En d'autres termes, l'erreur de grandeur x, comprise entre zéro et a, se reproduira le même nombre de fois dans la première série d'observations que l'erreur x' entre zéro et a' dans la deuxième série (1).

La relation $hx = h'x'$ indique que les grandeurs des erreurs pos-

(1) Liagre, *Calcul des probabilités.*

sibles x et x' sont en raison inverse des constantes h et h'; en conséquence, les observations seront d'autant plus exactes que x et x' seront plus petits, et que h et h' seront plus grands.

La constante h mesure donc la précision d'une série d'observations. On lui donne le nom de *module de convergence, coefficient de précision,* etc. Pour obtenir sa valeur, on emploie la formule suivante :

$$h = \sqrt{\frac{n}{2\Sigma e^2}},$$

dans laquelle n est le nombre des observations et Σe^2 la somme des carrés des erreurs.

Parmi toutes les erreurs possibles que présente une série d'observations suffisamment nombreuses, il en est une qui a une valeur telle, que le nombre des erreurs qui la surpassent en valeur absolue est égal au nombre des erreurs qui ont une valeur moindre. Il y a alors un contre un à parier que l'erreur d'une observation isolée prise au hasard n'atteindra pas une valeur supérieure à celle-ci. La probabilité est, dans ce cas, égale à $\frac{1}{2}$; on donne le nom d'*erreur probable* ou d'*erreur médiane* à cette erreur ainsi définie. Sa considération est d'une grande importance dans le calcul des résultats donnés par l'expérience; elle permet, en effet, de connaître quel degré de confiance on peut accorder aux résultats donnés par une série de déterminations.

L'erreur probable ε d'une détermination isolée est donnée par la formule

$$\varepsilon = 0,477\sqrt{\frac{2\Sigma e^2}{n}}.$$

On a souvent à considérer l'erreur probable du résultat moyen de toute une série de déterminations; dans ce cas sa valeur ε_1 est donnée par la formule

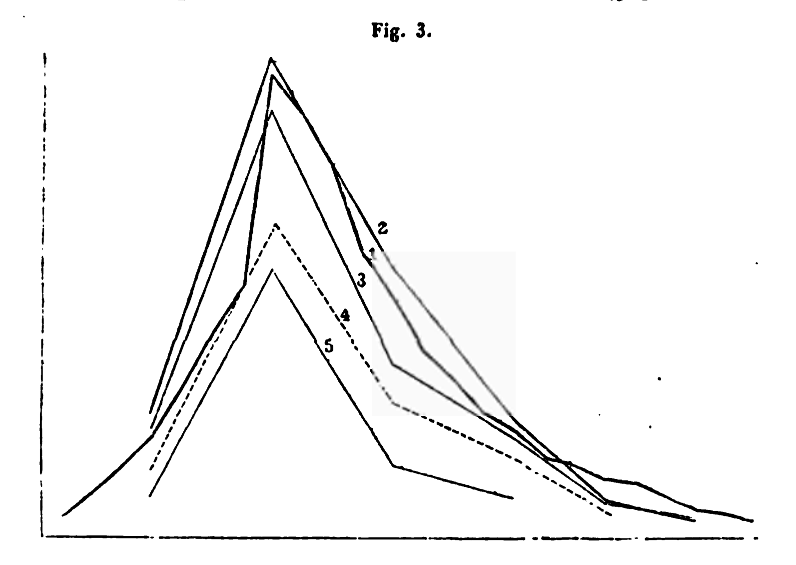
$$\varepsilon_1 = \frac{0,477}{n}\sqrt{2\Sigma e^2}.$$

J'ai calculé l'erreur probable ε_1 pour chaque série d'observations, afin de savoir sur quel chiffre exact je pouvais compter.

III. *Expériences. Résultats.* — Pour déterminer le coefficient de précision en chaque région du spectre, je plaçai une lampe

Drummond à 12^c,5 en avant de l'ouverture ([1]). Le faisceau lumineux se divisait en deux faisceaux égaux qui venaient éclairer les parties inférieure et supérieure de la fente ; de cette manière, les variations possibles d'intensité se produisant également dans les deux faisceaux, les intensités relatives des radiations avaient une valeur constante. Je déterminai alors, pour chaque région du spectre, l'intensité relative des radiations correspondantes, à l'aide d'une série de vingt observations, dont les écarts sur leur moyenne permirent de calculer les coefficients de précision relatifs à ces radiations. Cette opération fut répétée de 10 en 10 divisions du micromètre. J'ai pu, dès lors, construire une courbe (*fig.* 3, courbe

Fig. 3.



n° 1) dans laquelle les coefficients de précision sont portés sur l'axe des y, les longueurs d'ondulations sur l'axe des x.

On voit immédiatement : 1° que les valeurs des coefficients de précision varient avec les radiations spectrales; 2° qu'il y a un maximum parfaitement accusé dans le jaune; 3° que la courbe est continue et monte excessivement vite dans le rouge et l'orangé.

Je voulus me rendre compte ensuite de l'influence de l'intensité absolue sur la valeur du coefficient de précision d'une radiation

([1]) L'appareil était disposé pour une seule lumière, comme pour l'étude de l'absorption.

donnée; pour cela, je changeai la position de la lampe à la fente, de manière qu'elle fût successivement aux distances de 25^c, 37^c,5; 50 et 75 centimètres. J'obtins les courbes 2, 3, 4, 5. Il résulte de l'examen de ces courbes que les coefficients de précision varient peu, relativement aux changements des intensités lumineuses. Ainsi nous voyons que les coefficients relatifs aux rayons jaunes (165 du micromètre) ont varié dans le rapport de 158 à 89, quand les intensités ont varié dans le rapport de 16 à 1. En outre, la variation n'est pas toujours dans le même sens; ainsi la courbe (2) est généralement plus élevée que la courbe (1), quoique celle-ci ait été donnée par une lumière quatre fois plus intense que celle qui a fourni la courbe (2).

Il y a probablement pour chacune des radiations une certaine intensité qui correspond à un maximum de précision. Si l'intensité est trop forte, l'œil fatigué perd en partie la faculté de reconnaître les petites différences d'intensité; si la lumière est trop faible, au contraire, l'œil ne saisit plus facilement les différences d'intensité des bandes et les mesures sont également moins précises.

Il serait intéressant de rechercher l'existence et la valeur de ces maxima, que les conceptions théoriques de M. Helmholtz et les derniers travaux de M. Delbœuf font entrevoir.

Après avoir effectué ces recherches préliminaires, j'ai entrepris de comparer entre elles les sources lumineuses généralement employées. La détermination précise des absorptions des milieux colorés, la recherche de la loi qui lie l'émission des radiations avec l'élévation de la température sont autant de problèmes que la méthode photométrique dont j'ai fait usage permettra de résoudre.

Vernis destiné à faciliter l'écriture sur le verre;
par M. A. Terquem.

Depuis que l'emploi, et même la mode, des projections se sont introduits dans l'enseignement de la Physique, on a cherché à représenter sur des lames de verre divers dessins ou tableaux que, précédemment, on dessinait à la craie ou au fusain. La photogra-

phie a été, dans ce but, souvent mise à réquisition; mais il y a tel dessin trop simple pour employer ce moyen. D'un autre côté, dans un but plus sérieux, on peut avoir à dessiner sur verre des échelles divisées, à marquer sur des tubes des points de repère. Or, l'encre ordinaire, ou même l'encre de Chine, ne prend que difficilement sur le verre bien propre; le vernis ne peut être posé qu'au pinceau et non à la plume.

J'ai cherché à composer un vernis à l'alcool qui recouvrît le verre d'une couche presque invisible et sur laquelle on pût écrire et dessiner à l'encre.

J'ai reconnu d'abord qu'on pouvait employer dans ce but tous les vernis à l'alcool, quelle que fût la résine dissoute; seulement il est indispensable de verser le vernis sur la lame de verre légèrement chauffée, en opérant comme pour poser le collodion sur le verre pour faire une épreuve photographique.

Si l'on verse le vernis sur la lame de verre non chauffée, l'évaporation de l'alcool refroidit la lame de verre et l'humidité de l'air s'y déposant empêche le vernis de prendre de la cohésion; la résine reste opaque, non adhérente, et donne au verre l'aspect du verre dépoli. On peut cependant éviter de chauffer le verre, en plaçant aussitôt la lame couverte de vernis sous une cloche dont l'atmosphère a été desséchée d'avance à l'aide d'un vase rempli d'acide sulfurique.

L'eau que contient l'alcool employé pour la confection du vernis a aussi une influence fâcheuse sur l'évaporation du liquide ainsi que sur la transparence et l'adhésion de la couche de résine; aussi est-il très-important d'employer, en général, pour tous les vernis, de l'alcool ayant au moins un titre de 95 pour 100, ou mieux encore de l'alcool absolu.

Pour parer à ces inconvénients et pouvoir poser le vernis sur les objets froids, même le vernis à la gomme laque, les fabricants y ajoutent souvent une petite quantité d'essence, et particulièrement d'essence de lavande; celle-ci, en effet, retarde l'évaporation de l'alcool, et maintient en dissolution la résine quand l'alcool est évaporé, et malgré le dépôt de rosée; mais ces vernis, dits *vernis accélérés*, sèchent plus lentement que les vernis à l'alcool pur, et jamais ils ne présentent le même éclat; la couche de résine est plus épaisse et moins égale. Il est donc préférable d'employer seu-

lement de l'alcool absolu; de cette facon le corps à vernir n'a besoin que d'être très-peu chauffé, à 40 degrés au plus; si on le chauffe trop, l'évaporation est trop rapide, et le vernis se dépose avec des stries.

Pour vernir le verre, j'ai donné la préférence spécialement à deux vernis.

Le vernis au mastic (alcool absolu, 100 centimètres cubes; mastic, 10 grammes) donne une couche absolument transparente, parfaitement unie, sans stries; l'écriture n'y est pas absolument facile, à cause du défaut de grain de la surface.

Le vernis à la sandaraque (alcool absolu, 100 centimètres cubes; sandaraque, 10 grammes), au contraire, subit une sorte de retrait ou tressaillement perpendiculaire au sens de l'écoulement. Ces stries très-fines, parfaitement visibles, produisent très-nettement le phénomène des réseaux quand on regarde à travers la plaque une lumière éloignée.

Pour l'écriture sur verre, il est préférable de prendre le vernis suivant : alcool, 100 centimètres cubes; mastic, 7; sandaraque, 3. La surface présente un certain grenu qui rend l'écriture plus facile.

Si l'on pose le vernis au mastic à froid, on obtient une couche dépolie, peu adhérente, qui présente des colorations très-vives, et donne le phénomène des couronnes quand on examine une lumière éloignée, avec certaines particularités qui seraient dignes d'être étudiées avec soin.

Le vernis à la sandaraque à froid donne au contraire au verre l'aspect complet de verre dépoli, sans coloration; on peut sur cette couche inscrire des vibrations, comme on le fait sur le noir de fumée; les inscriptions sont plus fines que sur ce dernier corps; on peut colorer la couche non enlevée et la rendre plus opaque, en mêlant du violet d'aniline au vernis. On fixe l'inscription en plongeant la lame de verre dans une dissolution légère de gomme.

Le vernis à la sandaraque et au mastic posé à froid sur le verre donne une couche dépolie avec des phénomènes de réseaux et de couronnes simultanés. On est obligé de recouvrir d'un second verre ces couches dépolies pour les conserver; de même pour l'écriture sur vernis transparent, quoiqu'on puisse fixer l'écriture en plongeant la lame également dans de l'eau gommée; le pinceau enlève l'écriture qui n'est que superficielle.

En supposant plusieurs lames de verre recouvertes de vernis à la sandaraque posé à froid, on peut obtenir des lames translucides qui seraient employées utilement dans la photométrie, pour remplacer les lames de verre amidonnées par le procédé Foucault, qu'il est difficile d'obtenir recouvertes d'une couche bien uniforme.

SÉANCE DU 5 MAI 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Boursac, ancien proviseur à Angoulême; Duchemin, ingénieur; Yvon, pharmacien; Séguin, recteur de l'Académie de Caen.

M. Lecoq de Boisbaudran, après avoir rappelé les considérations théoriques tirées de l'analyse spectrale qui l'ont conduit à la découverte du nouveau métal auquel il supposait des propriétés intermédiaires entre celles de l'aluminium et de l'indium, fait connaître les propriétés physiques principales du gallium.

M. Jannettaz, en exerçant normalement au plan de symétrie du cristal un effort pour percer le cristal, a observé que l'air interposé entre le feuillet déformé et le feuillet traversé donnait lieu à des anneaux colorés elliptiques semblables aux ellipses de conductibilité, et a été conduit à rechercher, par cette méthode, la valeur des coefficients d'élasticité du gypse dans diverses directions.

La séance est levée à 10 heures.

Sur les propriétés physiques du gallium;
par M. Lecoq de Boisbaudran.

Les quantités du nouveau métal que j'ai réussi à obtenir étant très-petites, il ne m'a été possible d'examiner encore qu'un nombre restreint de ses principales propriétés physiques.

Le gallium pur ([1]) fond à environ $+29°,5$: il se liquéfie donc rapidement dès qu'on le place dans la main. Lorsqu'il a été complétement fondu, il se maintient en surfusion avec une facilité extrême. En février-mars 1876, un petit globule a conservé l'état liquide, pendant plus d'un mois, à l'air libre de mon laboratoire de Cognac, bien qu'il fût chaque jour divisé, puis réuni, au moyen d'une tige d'acier, et cela, par des températures qui sont plusieurs fois descendues jusque vers zéro et peut-être au-dessous. Le gallium surfondu se prend en masse quand on le touche avec une trace de gallium solide.

Au-dessous de $+29°,5$, ou à froid et en surfusion, le gallium liquide est très-mobile, mais apparaît comme recouvert d'une mince pellicule, sous laquelle on voit le métal couler lorsqu'on penche le tube qui le contient; il adhère fortement au verre sur lequel on l'étend facilement en couche mince par frottement avec une baguette.

Même à peu de degrés au-dessous de son point de fusion, le gallium solide est dur et d'une ténacité remarquable pour un métal aussi fusible; il se coupe néanmoins au couteau comme un métal malléable et présente, sous ce rapport, quelque analogie avec l'aluminium.

Le gallium cristallise avec une grande facilité. Une petite masse à peu près sphérique, pesant 6 centigrammes, ayant été soumise à l'action dissolvante de l'acide chlorhydrique, acquit des contours polyédriques aussi nets et des facettes aussi étendues que si la masse entière eût appartenu à un cristal unique.

Chauffé au rouge vif en présence de l'air, le gallium ne s'oxyde que très-légèrement à la surface et ne se volatilise pas.

Un des caractères les plus saillants du gallium est la production d'un spectre, formé de deux raies violettes linéaires, dont la plus brillante a pour longueur d'onde 417,0 et l'autre 403,1. Ce spectre s'obtient en faisant éclater l'étincelle d'induction sur une solution saline de gallium; c'est une réaction fort sensible du nou-

---

([1]) La marche suivie dans la préparation des 10 centigrammes de gallium présentés à l'Institut et à la Société française de Physique, ainsi que l'examen spectral, me porte du moins à penser que ce gallium approchait de la pureté complète.

veau métal. Dans la flamme du gaz, au contraire, on n'observe qu'à grand'peine une faible trace de la raie 417,0.

La densité du gallium (provisoirement déterminée sur un échantillon pesant 6^{cs},4 et sauf vérification ultérieure) a été trouvée égale à 4,7; c'est bien ce que le calcul indique pour un métal qui se placerait dans les séries naturelles entre l'aluminium et l'indium. La position des deux raies violettes du gallium sur l'échelle des longueurs d'ondes tend également à classer cet élément entre l'indium et l'aluminium. La singulière fusibilité du gallium est, au contraire, en désaccord avec ce qu'on aurait pu supposer en prenant pour base de calcul les fusibilités de l'aluminium et de l'indium.

J'ai cherché à déterminer, au moins avec une grossière approximation, l'équivalent du gallium; mais les nombres obtenus dans trois expériences sont trop peu concordants pour qu'il me soit permis de les publier; il semblerait cependant, d'après ces essais imparfaits, que l'équivalent du gallium est voisin du nombre qu'on déduit de la position du gallium entre l'indium et l'aluminium; c'est-à-dire qu'il s'accorde assez probablement, soit avec l'équivalent calculé par M. Mendeleeff, soit avec celui, peu différent, que donnent mes propres hypothèses.

Addition à la Note précédente [1];
par M. Lecoq de Boisbaudran.

J'ai récemment préparé un peu plus de $\frac{1}{2}$ gramme de gallium pur. A l'état liquide, ce métal est d'un beau blanc d'argent; mais, en cristallisant, il prend une teinte bleuâtre très-prononcée et son éclat diminue notablement.

En opérant convenablement la solidification du gallium surfondu, on obtient des cristaux isolés : ce sont des octaèdres que je m'occupe de mesurer.

Dans un premier essai (avril 1876) le point de fusion avait été

---

[1] Addition envoyée à la Société en septembre.

trouvé compris entre 29 et 30 degrés environ, soit à peu près + 29°,5. Je viens de reprendre cette détermination. Je suis parvenu à + 30°,15 comme moyenne de nombres très-concordants.

A + 30°,06, le métal cristallisait, bien qu'avec une extrême lenteur.

En mai 1876, j'essayai de mesurer la densité du gallium sur un échantillon de 6 centigrammes; j'obtins 4,7 à 15 degrés. La moyenne des densités de l'aluminium et de l'indium étant à peu près 4,8 à 5,1, le poids spécifique provisoirement trouvé pour le gallium paraissait pouvoir s'accorder assez bien avec une théorie classant ce métal entre l'indium et l'aluminium.

Cependant les calculs établis par M. Mendeleeff pour un corps hypothétique qui semble correspondre au gallium (du moins d'après plusieurs de ces propriétés) conduisaient à la densité 5,9.

Le gallium cristallisé sous l'eau décrépite quelquefois quand on le chauffe. Peut-être mon premier métal contenait-il des vacuoles remplies d'air ou d'eau. Quoi qu'il en soit, j'ai évité depuis cette cause d'erreur en chauffant fortement le métal et le solidifiant dans une atmosphère sèche.

En employant quelques centigrammes seulement, j'obtins d'abord pour la densité des nombres variant de 5,5 à 6,2.

Je viens enfin d'opérer sur 58 centigrammes à la fois.

Densités trouvées.

1re expérience	5,90	à 23 degrés et relativement à l'eau à 23 degrés.
2e »	5,97	
3e »	5,96	à 24°,45 et relativement à l'eau à 24°,45.
Moyenne ..	5,94	à 23°,5 et relativement à l'eau à 23°,5.

Il n'est pas besoin d'insister, je pense, sur l'intérêt qui s'attache à la confirmation des vues théoriques de M. Mendeleeff en ce qui concerne la densité du nouvel élément.

Connexion des axes des ellipses de conductibilité thermique et des coefficients d'élasticité de flexion dans le gypse; par M. Ed. Jannettaz.

De l'ensemble de mes recherches sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés j'ai tiré cette loi remarquable : qu'une même température se propage le plus loin, à partir d'une source de chaleur déterminée, suivant les directions planes qui se clivent le plus facilement, ou, si l'on aime mieux, qui adhèrent aux directions parallèles par la moindre cohésion.

J'ai vu, par exemple, que dans le gypse le grand axe de l'ellipse des conductibilités du plan g^1, celui de plus facile clivage, fait avec la zone verticale un angle de 17 degrés et qu'il est, par conséquent, plus près du clivage vitreux ou de second ordre que du clivage fibreux, le plus difficile, ou de troisième ordre, en appelant clivage de premier ordre celui qui est parallèle au plan g^1 lui-même, et auquel les deux autres sont perpendiculaires.

Le plan du papier est le plan g^1 (plan de symétrie des cristaux de gypse).

En exerçant normalement au plan de symétrie un effort pour percer le cristal, j'ai observé que l'air interposé entre le feuillet déformé et le feuillet traversé donnait lieu à des anneaux colorés elliptiques semblables aux ellipses de conductibilité, et j'ai été conduit à rechercher la valeur des coefficients d'élasticité du gypse, suivant les rayons vecteurs de ces courbes. J'ai déterminé les coefficients d'élasticité de flexion de lames de gypse prélevées dans différentes directions, et notamment dans les directions parallèles aux axes des ellipses. En comparant leurs rapports à ceux des axes de conductibilité, j'ai trouvé que les premiers sont représentés par les cubes des seconds.

Je me suis servi de la formule connue

$$\frac{E}{E'} = \frac{p l^3 y'}{p' l'^3 y} = 1,939,$$

y, p, l, E désignant la flèche, la charge, la longueur et le coeffi-

cient d'élasticité par rapport au grand axe; les mêmes lettres accentuées ont la même signification relativement au petit axe.

J'ai obtenu 1,939 pour rapport des coefficients d'élasticité. Ce nombre est précisément le cube de 1,247, rapport des axes de conductibilité thermique.

SÉANCE DU 19 MAI 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Bézodis, professeur au lycée Henri IV ; Deslandes, ancien officier de marine en retraite; Gauthier-Villars, ancien élève de l'École Polytechnique; Jenot. professeur au Lycée de Nancy; Mouchot, professeur au lycée de Tours; Reynier, ingénieur; Rolland, directeur général des Manufactures de l'État.

M. du Moncel expose les résultats de ses expériences sur la polarisation électrique. L'auteur a particulièrement étudié les phénomènes qui se produisent lorsqu'on fait passer le courant à travers un prisme d'une variée de silex remarquable par ses propriétés (le silex d'Hérouville), relié à la pile par deux lames de platine.

M. André explique l'influence de la diffraction sur la grandeur des images observées dans les instruments d'optique.

La séance est levée à 10 heures.

Polarisation électrique des minéraux; par M. LE Cte TH. DU MONCEL.

On a beaucoup écrit sur la polarisation électrique, on a varié de beaucoup de manières les expériences; mais la question est si complexe qu'elle présente encore bien des points obscurs. Jusqu'à pré

sent, les expériences ont surtout porté sur les liquides où ce phénomène se développe de la manière la plus énergique et dans les conditions les plus simples; mais, comme il est difficile avec de pareils conducteurs d'analyser séparément les effets produits par les divers éléments qui prennent part au phénomène, on n'a guère étudié les effets de polarisation qu'à un seul point de vue, à celui de l'effet produit secondairement par les électrodes; de sorte que les effets déterminés au sein du corps électrisé lui-même sont généralement passés inaperçus. Ils sont pourtant très-importants, comme on va le voir, et, pour les mettre au jour, il fallait employer un électrolyte solide, qui, tout en jouissant d'une conductibilité électrolytique marquée, présentât des surfaces sèches et polies sur lesquelles les électrodes pussent s'appliquer facilement sans aucune intervention humide.

Certains minéraux, et en particulier les hydrates de silice naturels, tels que les opales du Mexique, certains silex et silicates à base métallique, et un certain nombre de minerais métalliques, entre autres les fers oligistes et magnétiques, la blende de zinc, etc., sont précisément dans ces conditions; et, grâce à eux, j'ai pu en quelque sorte disséquer les effets produits par le passage d'un courant à travers un électrolyte peu conducteur, effets très-variés et très-curieux, comme on pourra le voir par les résultats que nous allons exposer.

Le minéral qui m'a donné les meilleurs résultats, c'est-à-dire les effets les plus énergiques, est un certain silex gris que l'on rencontre en bandes étroites dans les carrières de pierre calcaire des environs de Caen. C'est un corps très-hygrométrique, très-dur, susceptible d'un beau poli, dont la densité est 2,56 et dont la composition est la suivante, d'après M. Damour :

	gr
Silice	0,9664
Alumine................................	0,0048
Oxyde ferrique.........................	0,0051
Chaux..................................	0,0034
Eau et matières volatiles	0,0200
	0,9997

J'ai fait tailler en plaques trois fragments de ce silex, afin d'en avoir toujours un non électrisé qui pût me servir d'analyseur. Ces

plaques avaient 4 centimètres de longueur, 2c,5 de largeur et 0c,5 d'épaisseur.

Quand je voulais faire passer le courant de la pile, qui se composait de douze éléments Leclanché, à travers ces pierres, j'enveloppais ses deux extrémités avec deux lames de platine très-minces, qui en constituaient les électrodes et qui étaient serrées contre la pierre au moyen de deux petits étaux en bronze auxquels étaient attachés les fils de la pile. Les électrodes avaient 240 millimètres carrés de surface, et leur distance l'une de l'autre, quand elles étaient posées sur la pierre, était d'environ 15 millimètres; j'avais soin de les flamber avec une lampe à alcool à chaque expérience nouvelle.

Le galvanomètre que j'ai employé, pour mesurer les effets produits, était un galvanomètre de Ruhmkorff, ayant 36000 tours de spires et une résistance de 733 kilomètres de fil télégraphique. Il était conséquemment de la plus grande sensibilité, et je modérais à mon gré cette sensibilité au moyen d'un appareil à dérivations.

Quand je faisais passer le courant à travers la pierre, j'étais obligé d'établir, entre les deux extrémités du galvanomètre, une dérivation de 4 kilomètres de résistance, et j'obtenais au début une déviation variant de 70 à 80 degrés, qui augmentait avec la durée de fermeture du circuit et qui fournissait, après que la pile était retirée du circuit, un courant de polarisation atteignant généralement (sans la dérivation) 86 degrés en sens opposé du courant primitif. Ce courant durait plus ou moins longtemps suivant la durée de la fermeture du circuit. Par une fermeture de dix minutes, il ne disparaissait qu'au bout d'une demi-heure; j'avais donc tout le temps d'étudier ce phénomène sous tous ses aspects. Or voici les conclusions auxquelles m'ont conduit de nombreuses expériences répétées un très-grand nombre de fois:

1° La polarisation augmente avec l'intensité et la durée du courant qui la provoque, et ses effets sont d'autant plus caractérisés que les électrodes ont une moindre surface.

2° Le phénomène de la polarisation se produit d'une manière double sur les électrodes et sur les corps électrolysés, de telle sorte que le courant principal crée, par suite de sa circulation à travers le système électrolytique, deux générateurs électriques distincts, qui sont susceptibles de produire isolément des courants de polarisation.

3° La prédominance de l'un de ces courants sur l'autre dépend du temps de l'électrisation du système électrolytique et de la nature du corps électrolysé. Si le corps n'a pas une conductibilité propre bien prononcée, comme le silex dont il a été question, le courant de polarisation fourni par les électrodes est, pour une fermeture du courant principal de peu de durée (cinq ou dix minutes), de beaucoup supérieur à celui de la pierre ; mais l'inverse a lieu si le courant principal a été fermé pendant longtemps (une demi-heure par exemple), ou si l'on a effectué un grand nombre d'expériences de suite et dans le même sens. Avec une pierre qui possède, en outre de la conductibilité électrolytique, une conductibilité métallique, comme le fer oligiste par exemple, il n'en est plus de même, et c'est le courant de la pierre qui l'emporte de beaucoup sur le courant des électrodes.

4° Le courant de polarisation fourni par les électrodes est dû évidemment à l'action des gaz condensés ; car, pour obtenir révélation de ce courant, il faut réunir les deux électrodes qui ont servi à l'électrisation de la pierre par un corps jouissant d'une conductibilité électrolytique marquée, soit un second silex, soit un liquide quelconque. Si l'on réunit ces électrodes par une pierre métallique ou un corps jouissant d'une conductibilité métallique prononcée, comme le fer oligiste dont il a été question, aucun courant n'est produit.

5° Le courant de polarisation, fourni par le corps électrolysé, a une origine plus complexe : il peut provenir, soit d'une condensation de gaz effectuée sur celles des particules du corps qui jouissent d'une conductibilité propre, soit d'une polarisation électrostatique qu'auraient acquise, sous l'influence d'une condensation électrique opérée par les électrodes, ces différentes particules, d'où résulterait un courant de décharge analogue à celui produit par un condensateur dont on réunirait les armatures ; et, comme la charge électrique, en raison de la médiocre conductibilité du corps, éprouve de la difficulté à se déplacer à l'intérieur de sa masse et qu'elle a mis déjà un temps assez long pour la pénétrer, il lui faut également un temps assez long pour s'annuler, et de là la durée relativement considérable du courant de décharge, qui joue alors le même rôle que le courant de polarisation. Il est probable que ces deux effets réagissent en même temps dans le phénomène dont il est question.

6° La part que prend chacune des deux électrodes dans la création du courant de polarisation produit n'est pas la même. Elle est beaucoup plus grande avec l'électrode positive qu'avec l'électrode négative, et pourtant leur action simultanée donne au phénomène un développement bien supérieur à celui qui résulterait de leurs actions individuelles simplement additionnées. Cette différence d'action varie avec la durée de fermeture du courant principal, et elle est d'autant plus grande que cette durée est plus longue ; toutefois la différence ne porte guère que sur l'électrode positive ; car, à l'électrode négative, l'effet de la polarisation atteint bien vite un chiffre qu'il ne dépasse jamais que de très-peu. Ainsi, si, après avoir électrisé pendant cinq minutes le silex dont nous avons parlé, on prend l'électrode positive et qu'on la place sur un second silex non électrisé, en prenant une lame de platine neuve pour seconde électrode, on trouve un courant représenté par 10 degrés. Or, l'électrode négative étant substituée à l'électrode positive, le courant n'a plus été que de 3 degrés, et pourtant les deux électrodes combinées fournissaient un courant de 42 degrés. En répétant les mêmes expériences après une électrisation de la pierre de vingt minutes, le courant développé par l'électrode positive a été de 35 degrés, celui produit par l'électrode négative 4 degrés, et les deux électrodes agissant simultanément ont fourni un courant de 61 degrés.

7° La faculté que possèdent les électrodes de fournir un courant de polarisation après avoir été électrisées par l'intermédiaire d'une pierre se conserve longtemps et n'est pas détruite par l'essuyage, comme cela a lieu quand elles ont servi d'électrodes à un liquide ; mais, si l'on vient à les mouiller, cet essuyage les dépolarise aussi bien que si on les eût flambées à une lampe à alcool, du moins si l'on prend, pour révéler leur état électrique, un silex non électrisé.

8° Si l'on applique sur une pierre non électrisée des électrodes de platine plongées pendant longtemps dans les gaz oxygène et hydrogène, ou si l'on insuffle autour de ces électrodes des jets de ces deux gaz, on n'obtient aucun courant : d'où l'on peut conclure que le phénomène de la polarisation ne peut être assimilé dans ce cas à celui d'une pile à gaz, comme on l'admet généralement. D'un autre côté, si l'on électrise séparément les électrodes en en faisant les deux armures d'un condensateur et qu'on les applique sur la pierre,

on n'obtient pas davantage de courant; il faut donc, pour que le phénomène se produise, que le système constituant l'électrolyte soit à la fois électrisé et disposé de manière à avoir sur les électrodes des gaz condensés. Dans ces conditions, c'est l'action électrique qui détermine l'action chimique et non cette dernière. Toutefois, si l'on considère que c'est l'électrode où se dégage l'oxygène qui prend la plus grande part au phénomène, et que cet oxygène est alors transformé en ozone, on pourrait peut-être admettre que c'est la formation de l'ozone qui produit les effets de polarisation, mais il n'agit puissamment que parce qu'il est électrisé. Pour moi, je ne serais pas éloigné d'admettre que l'action physique préventive, qui détermine les effets de polarisation, serait du genre de celle qui provoque pour la lumière les effets de fluorescence et de phosphorescence, et que les corps ayant subi l'électrisation pendant quelque temps seraient susceptibles de conserver, eu égard aux actions d'affinité moléculaire qu'ils pourraient exercer ultérieurement, une certaine propriété électrique *réflexe*, qui continuerait l'action électrique primitive et qui pourrait être modifiée suivant la nature de ces corps. Ce serait en quelque sorte une force d'amorcement analogue à celle qui, d'après la théorie de Volta, résulterait du contact physique des corps entre eux.

9° Si, après avoir fait passer pendant un temps assez long un courant à travers un électrolyte, on vient à le faire passer en sens contraire pendant un temps beaucoup plus court, le courant de polarisation qui se trouve alors constaté correspond au dernier sens du courant principal qui a traversé l'électrolyte; mais il ne dure pas, et, au bout de quelques instants, il disparaît pour faire place à un autre de sens inverse qui correspond à la première électrisation de l'électrolyte. Cet effet est général pour tous les électrolytes constitués par des corps simplement humides et même par des liquides ne produisant que des gaz à la suite de l'électrolysation; mais ils sont beaucoup plus distincts et plus faciles à analyser avec le silex dont il a été question. En étudiant séparément les courants produits dans ce cas par les électrodes et la pierre, on reconnaît que le courant de polarisation constaté en premier lieu est déterminé par les électrodes, et que le second provient du corps électrolysé lui-même: d'où il résulterait que deux polarités électriques contraires pourraient être superposées sans se détruire réciproquement. Si l'on se

reporte aux déductions que nous avons formulées précédemment. ces effets peuvent s'expliquer assez facilement. En effet, le premier courant principal, agissant pendant un temps relativement long, aura polarisé non-seulement les électrodes qui recouvrent toujours le premier effet, mais encore les particules conductrices de l'électrolyte qui, à elles seules, peuvent, comme on l'a vu, provoquer un courant assez énergique. Lorsque le second courant principal traverse l'électrolyte en sens inverse, son action se porte d'abord sur les électrodes, qu'il dépolarise facilement en raison de leur bonne conductibilité, pour les constituer électriquement d'une manière en rapport avec sa direction; et, comme il ne dure pas assez longtemps pour que les effets qu'il provoque pénètrent profondément à l'intérieur de l'électrolyte, les premiers effets subsistent, et cela d'autant plus que les polarités alors communiquées aux particules conductrices se trouvent être en sens contraire de ce qu'elles devraient être pour que les gaz condensés pussent entrer en combinaison. Leur action se trouve donc momentanément paralysée et ne peut devenir efficace que quand les effets de polarisation dus à la seconde électrisation se sont évanouis.

10° Il résulte du passage d'un courant à travers les corps médiocrement conducteurs une polarisation telle des molécules qui les composent, qu'après même que tout courant de polarisation a cessé, son action se retrouve encore dans les effets électriques qui succèdent; ainsi, quand on produit, à travers un électrolyte du genre de ceux dont nous parlons, une série de fermetures du courant principal, dans le même sens, et qu'on attend avant de les effectuer que les courants de polarisation qui sont successivement déterminés soient annulés, on trouve que la durée de ces courants et leur énergie sont d'autant plus grandes que le nombre de courants transmis est lui-même plus grand, et en même temps l'intensité du courant principal s'affaiblit à chaque fermeture.

11° Quand le corps médiocrement conducteur traversé par un courant ne jouit pas d'une conductibilité électrolytique bien marquée, il se produit des effets qui ne sont autres que ceux résultant de l'électrification du corps lui-même. Ainsi l'on obtient dès le début une déviation galvanométrique plus ou moins marquée, qui n'est que le résultat d'un courant de charge dû à la condensation; puis ce courant diminue d'intensité à mesure que la charge se rap-

proche de l'état statique, c'est-à-dire à mesure que la tension électrique du corps atteint celle de la pile, et il ne subsiste plus qu'un faible courant dû à la conductibilité électrotonique des molécules du corps électrisé, et qui n'est perceptible qu'avec le système à réflexion de Thomson. Dans ces conditions, et avec les petites électrodes employées, on ne peut obtenir qu'un courant de polarisation ou de décharge à peine appréciable.

12° Les conséquences ordinaires des effets de polarisation sont, comme on le sait, l'affaiblissement successif du courant que l'on transmet; cependant, avec les corps médiocrement conducteurs, de la nature du silex employé dans mes diverses expériences, il n'en est pas toujours ainsi, et, lorsque l'humidité est suffisante, le courant en question augmente toujours d'intensité avec la durée de la fermeture du circuit. Quand, au contraire, le corps est très-peu humide, il s'affaiblit rapidement et peut même s'annuler avec certaines pierres poreuses au bout d'un certain temps. D'autrefois on remarque que le courant augmente d'énergie, quand il traverse le corps médiocrement conducteur dans un certain sens, et diminue pour l'autre sens. Ces effets proviennent quelquefois de courants locaux qui tendent à se développer au sein de la pierre; mais ils tiennent le plus souvent à la facilité plus ou moins grande que rencontre le courant à pénétrer la matière, laquelle est généralement plus sèche dans sa partie centrale qu'à la périphérie. Si la pierre est convenablement pénétrée par l'humidité, le courant, d'abord transmis faiblement dans sa partie superficielle, augmente successivement d'intensité à mesure que les parties plus intérieures prennent part à la conduction générale, et d'ailleurs l'induction latérale qui se produit alors pour la polarisation des molécules intérieures empêche à elle seule le courant d'atteindre immédiatement sa période permanente. Il en résulte que les effets de polarisation résultants ne sont pas alors assez forts pour contre-balancer ce surcroît d'intensité électrique. Si, au contraire, la pierre est assez résistante intérieurement pour ne pas être pénétrée facilement par l'action électrique, la conduction se fait surtout par la partie superficielle, et dès lors les effets de polarisation, devenant prépondérants, diminuent l'intensité du courant, et cela d'autant plus que la couche humide, étant alors très-mince, se trouve transformée promptement dans ses éléments gazeux. C'est pour cette même raison que le cou-

rant qui traverse une même pierre augmente d'intensité quand il a une certaine tension, et diminue au contraire de force quand il n'en a qu'une faible. J'entre, du reste, dans de grands détails à ce sujet dans mon Mémoire sur la conductibilité des corps médiocrement conducteurs, inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique* de 1876.

De la diffraction dans les instruments d'Optique; son influence sur les observations astronomiques; par M. Ch. André.

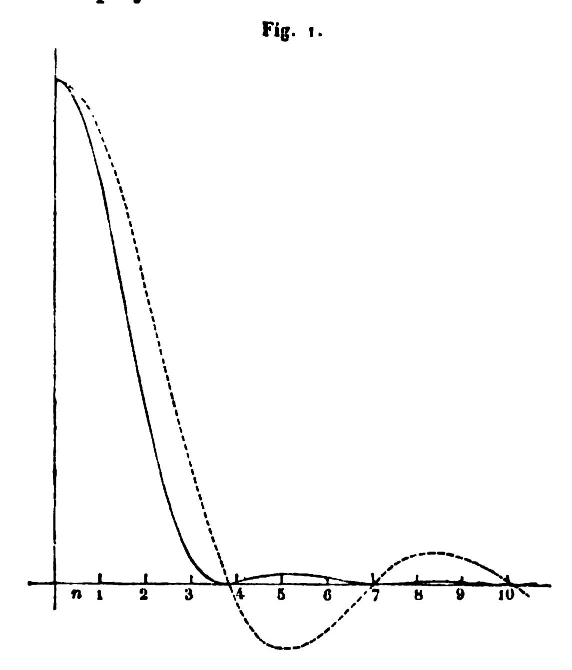
Pouvoir séparateur. — Pouvoir optique. — On sait que l'image d'un point lumineux, assez brillant et suffisamment éloigné, produite dans le plan focal d'un objectif ou d'un miroir aplanétique, se compose d'un disque central, où l'éclairement décroît rapidement à partir du centre, et qui est entouré d'anneaux brillants dont les intensités sont rapidement décroissantes, comme le montre le tableau suivant :

Centre de l'image..............	1
Premier maximum	$\frac{1}{50}$
Deuxième maximum............	$\frac{1}{240}$
Troisième maximum............	$\frac{1}{620}$

Les dimensions de ce disque central et des anneaux qui l'entourent dépendent d'ailleurs du diamètre de l'objectif ou du miroir; elles se *réduisent à zéro* pour un objectif de *diamètre infini*, et sont de plus en plus grandes, à mesure que l'on se sert d'un objectif de plus en plus petit, ou, ce qui revient au même, à mesure que l'on diaphragme de plus en plus un même objectif par ses bords, de sorte que, si l'on construit (*fig.* 1) (ligne pleine) une courbe, dont les ordonnées représentent les intensités lumineuses aux différents points de l'image donnée par une lunette déterminée, et qui ait pour abscisses les distances angulaires de ces points à l'axe de la lunette, cette *courbe des intensités* représentera les phénomènes pour un objectif d'ouverture quelconque, à la condition de faire varier l'échelle des abscisses, de telle sorte que l'abscisse qui

correspond à la distance angulaire *un* croisse proportionnellement à l'ouverture employée.

Fig. 1.



Il en résulte qu'on ne peut, avec un objectif donné, séparer nettement l'une de l'autre deux étoiles dont la distance angulaire est inférieure au diamètre du disque central qui correspond à son ouverture. C'est ce que Dawes et Foucault ont exprimé en disant que le *pouvoir séparateur* ou le *pouvoir optique* d'un objectif était proportionnel à son ouverture.

Si, au lieu de diaphragmer par les bords un objectif déterminé, de 30 centimètres d'ouverture par exemple, on le diaphragme par le centre, le diamètre du disque central diminue, au contraire, peu à peu à mesure que le diamètre de l'écran central augmente; il tend vers une *limite minimum,* qui est atteinte lorsque la partie laissée nue de l'objectif est réduite à une *bande marginale infiniment étroite.* Il y a donc là un moyen, qui d'ailleurs a été souvent employé, d'augmenter le pouvoir séparateur d'un objectif donné; mais, en même temps, les intensités lumineuses des anneaux brillants éloignés sont devenues des fractions de plus en plus

grandes de celles du centre à mesure que les dimensions de l'écran central ont augmenté, de sorte que, en s'opposant à l'effet optique des parties centrales de l'objectif, on a pour ainsi dire chassé la lumière du centre de l'image.

Tous ces faits, dont j'ai donné la théorie ([1]), montrent que, dans aucun cas, on ne doit considérer comme se réduisant à un point l'image d'une source lumineuse infiniment petite, donnée par une surface aplanétique réfringente ou réfléchissante.

L'image d'une source de diamètre apparent sensible du Soleil, de la Lune et des planètes, donnée par les mêmes instruments, doit-elle être au contraire réduite à son image géométrique? L'inverse paraît probable au premier abord, et je vais chercher à démontrer qu'il en est réellement ainsi. J'emploierai dans ce but le moyen suivant :

Solide de diffraction. — Si l'on fait tourner autour de son axe vertical la courbe des intensités qui correspond à l'image focale d'un point lumineux donné par un objectif ou un miroir, on engendre un certain solide de révolution que j'appelle *solide de diffraction*, et qui est l'image et comme la représentation immédiate des phénomènes lumineux existant dans le plan focal de la lunette; car, si l'axe de ce solide coïncide avec celui de la lunette, la quantité de lumière répandue sur un élément du plan focal est évidemment proportionnelle à la fraction cylindrique du volume de ce solide qui a pour base l'aire considérée.

Si l'ouverture de la lunette vient à changer, les dimensions tranversales de ce solide changent aussi (nous ne tenons pas compte des variations d'intensité qu'introduit le changement d'ouverture): elles diminuent si le diamètre de l'objectif augmente, croissent dans l'hypothèse inverse. Avec la restriction précédente, les apparences produites par un point lumineux, dans des objectifs de différentes ouvertures, sont donc les mêmes que celles que l'on obtiendrait, d'après les lois de l'Optique géométrique, en observant, avec une même lunette, ce solide placé comme nous l'avons dit

---

([1]) *Étude de la diffraction dans les instruments d'Optique; son influence sur les observations astronomiques.* (*Annales de l'École Normale supérieure*, t. V, p. 289, 1876.)

plus haut, mais à des distances (suffisamment grandes) proportionnelles aux diamètres des différents objectifs.

D'un autre côté, l'observation a montré que les différents éléments, ou points lumineux, dont se compose une source lumineuse de dimensions finies, sont à un instant quelconque dans des phases différentes de leur période de vibration ; de telle sorte que les mouvements qu'ils envoient en un point quelconque ne peuvent jamais interférer, et que l'intensité lumineuse en ce point est la somme des intensités qu'y produirait chacun des éléments de la source pris isolément.

L'intensité lumineuse sur un élément superficiel du plan focal est donc représentée par la somme des volumes des parallélépipèdes élémentaires qui lui correspondraient successivement dans le *solide de diffraction* caractéristique de l'ouverture employée (¹), si l'on plaçait son axe successivement au centre de chacun des éléments lumineux dont la source est formée : en d'autres termes, quelle que soit la forme donnée à l'ouverture de l'instrument dont on se sert, l'intensité lumineuse en un point quelconque M du plan focal s'obtient comme il suit :

Théorème. — *On place le solide de diffraction, caractéristique de l'ouverture, de façon que son axe perpendiculaire au plan focal passe par le point* M ; *toute la portion cylindrique du volume de ce solide comprise dans l'image de la source, telle qu'elle résulte des lois de l'optique géométrique, mesure l'intensité lumineuse au point* M.

Pour bien faire comprendre l'usage de ce théorème, je l'appliquerai successivement à différentes formes d'ouvertures et aussi à des sources lumineuses de formes diverses.

II. — Ouverture entière.

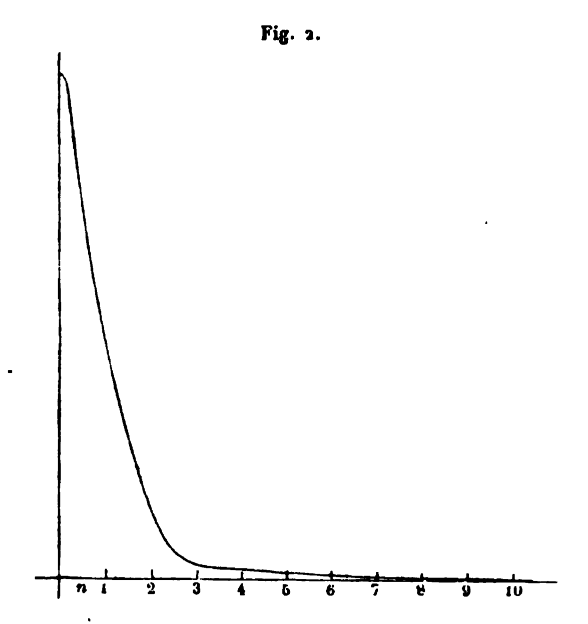
A. La source est une fente infiniment petite, une droite lumineuse. — J'étudierai d'abord le cas où une seule des dimensions de

(¹) En théorie, ce solide de diffraction s'étend indéfiniment dans un sens perpendiculaire à son axe. En pratique, on doit le limiter au minimum à partir duquel l'intensité lumineuse est insensible.

l'image géométrique de la source acquiert une valeur finie, que je supposerai d'ailleurs assez grande. Dans le plan focal d'un objectif ou d'un miroir aplanétique, les phénomènes lumineux sont alors tout différents, suivant que le point considéré est sur la direction même de la ligne lumineuse, ou qu'il est, au contraire, d'un côté ou de l'autre de cette ligne.

1° *Sur la ligne lumineuse ou son prolongement.* — Au milieu de l'image géométrique de la source, l'intensité est égale à la surface de la section méridienne du solide de diffraction : il en est ainsi jusqu'au point A, tellement situé, que le bord de ce solide, placé comme nous l'avons dit, coïncide alors avec celui de la fente. A partir de là, l'intensité lumineuse va en diminuant progressivement, et elle est pour chaque point égale à la surface entière de la

Fig. 2.



section méridienne diminuée de la partie graduellement croissante qui se trouve en dehors de la fente : au bord de cette fente, l'intensité est la moitié de ce qu'elle est depuis le milieu jusqu'au point A; au delà de l'image géométrique, l'intensité diminue encore progressivement et d'une façon continue, jusqu'à ce que l'on se soit assez éloigné pour que l'autre bord de la section méridienne du

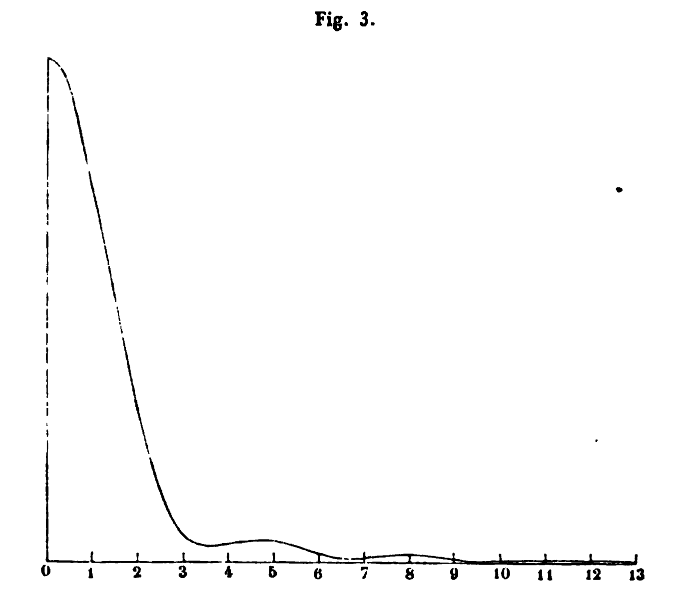
solide de diffraction coïncide avec le bord géométrique de l'image.

Ainsi, vers les extrémités de la ligne lumineuse, et avant que ses limites géométriques soient atteintes, l'intensité cesse d'être constante : une portion de la lumière est rejetée en dehors, et il se produit une *zone de lumière diffractée*, d'étendue d'autant plus grande que l'ouverture de la lunette est plus petite, dont une partie est intérieure à la ligne, l'autre partie lui étant extérieure, et où l'intensité lumineuse décroît d'une façon continue.

La *fig.* 2 représente les valeurs de l'intensité lumineuse dans la partie de cette zone de lumière diffractée extérieure à la fente elle-même : l'intensité au bord géométrique est prise pour unité.

2° *Sur une direction perpendiculaire à la ligne lumineuse.* — Pour plus de simplicité, supposons la ligne lumineuse infiniment longue. L'intensité sera alors la même en tous les points d'une droite parallèle à la source ; elle y sera égale à l'aire de la section faite dans le solide de diffraction par un plan mené parallèlement à celui de la section méridienne, à une distance de l'axe égale à celle de la droite et de la source.

Fig. 3.



La *fig.* 3, qui représente les aires de ces différentes sections,

montre que, de part et d'autre de l'image géométrique de la fente, l'intensité lumineuse, d'abord graduellement décroissante, à mesure que l'on s'éloigne de l'image géométrique, passe bientôt, comme dans le cas d'un point lumineux, par une série de minima et de maxima. Mais il y a entre les deux cas une différence profonde ; avec une fente lumineuse, l'intensité n'est pas nulle dans les points qui correspondent aux minima.

B. **Les dimensions angulaires de la source sont comparables à celles du solide de diffraction.** — Si la source, au lieu d'être réduite à une simple ligne, est une fente de plus en plus large, les apparences lumineuses qui viennent d'être indiquées se transforment d'une façon continue. L'intensité en un point du plan focal est alors proportionnelle, non plus à la surface d'une section du solide de diffraction, mais à la portion du volume de ce solide comprise entre deux de ces sections, de plus en plus distantes l'une de l'autre, à mesure que la largeur de la fente va en augmentant.

Les phénomènes sont donc les suivants :

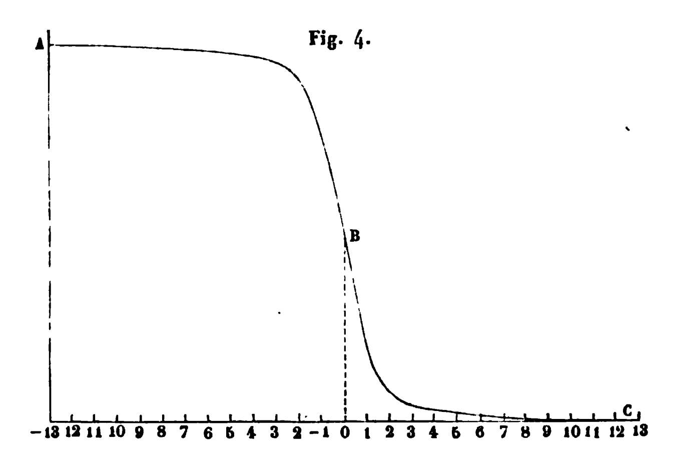
Sur la ligne médiane de l'image géométrique de la fente, l'intensité lumineuse est maximum ; elle décroît ensuite immédiatement de part et d'autre de cette ligne d'une façon progressive, pour aboutir, au delà des limites de l'image géométrique, à une série de maxima et de minima, dont les intensités diffèrent d'autant moins de celles des parties voisines que le diamètre angulaire de la fente est lui-même plus grand. Lorsque ce diamètre angulaire est devenu égal à celui du solide de diffraction caractéristique de l'ouverture employée, toute trace de maxima ou de minima lumineux a disparu dans le plan focal ; l'éclairement y varie alors d'une façon continue depuis le milieu de l'image géométrique jusqu'à ce qu'il devienne insensible.

C. **Le diamètre apparent de la source est très-grand dans toutes les directions.** — Nous examinerons maintenant le cas véritablement utile en Astronomie, celui où le diamètre apparent de la source est très-grand dans toutes les directions ; et, pour préciser, nous supposerons que ce diamètre soit assez grand pour qu'on puisse, en chaque point, considérer comme rectilignes les bords de la source lumineuse.

En appliquant le théorème général que nous avons énoncé en

commençant, on voit aisément que l'image focale de la source se compose alors de deux portions : l'une semblable à son image géométrique, dépendant de sa forme et de ses dimensions apparentes, mais d'autant plus grande que l'ouverture employée est plus grande, et où l'éclairement est constant et maximum; l'autre, contiguë à la première, lui faisant suite et l'entourant de toutes parts, dont la forme varie avec celle de la source, mais dont l'étendue angulaire ne dépend que de la grandeur de l'ouverture employée : cette seconde portion de l'image focale empiète en partie sur l'image géométrique, et l'éclairement y va en décroissant progressivement jusqu'à ce que, après avoir été réduit à moitié aux limites de l'image géométrique, il devienne bientôt complétement insensible.

Dans une lunette ou dans un télescope, l'image géométrique de toute source lumineuse d'un diamètre apparent suffisamment considérable se trouve donc accompagné d'une *zone de lumière diffractée*, d'étendue angulaire variable avec l'ouverture de l'instrument; et, pour trouver l'intensité lumineuse aux différents points de cette zone, il faut, dans le cas qui nous occupe, calculer les positions successives du volume du solide de diffraction séparées par un plan, qui se déplace parallèlement à lui-même, et à l'axe de ce



solide depuis l'un de ses bords jusqu'à l'autre. Je les ai représentées dans la *fig.* 4, où l'abscisse zéro correspond aux limites géométriques de l'image.

D. Constante de diffraction instrumentale. — L'étendue de la zone de lumière diffractée, dans laquelle l'intensité lumineuse est assez grande pour impressionner la rétine, dépend évidemment, toutes choses égales d'ailleurs, de l'éclat de l'astre observé. Mais, si celui-ci est assez brillant, on doit admettre que cette limite d'intensité est une fraction constante de l'intensité maximum de l'image focale, et, par suite, correspond à une même valeur de l'abscisse, quelle que soit l'ouverture de la lunette qui sert aux observations. Cela revient à dire que *le diamètre d'un astre suffisamment brillant et observé sur un fond identique varie avec l'ouverture de l'instrument employé.*

Si l'on admet que dans cette zone diffractée on cesse de percevoir la lumière dès que son intensité est le *trentième* de celle de la portion où l'éclairement est constant, on voit que, pour un objectif de 10 centimètres d'ouverture, cette zone diffractée extérieure a une étendue angulaire égale à 1",4.

En d'autres termes, en vertu même des propriétés de l'agent lumineux au foyer d'un objectif aplanétique, le diamètre de l'image focale d'une source, dont l'étendue angulaire est suffisamment grande, est égale à son diamètre géométrique augmenté d'une certaine quantité variable avec l'ouverture de l'instrument, et qui pour un objectif de 10 centimètres atteint théoriquement la valeur de 2",8.

Relativement à la mesure des diamètres des astres d'une certaine étendue angulaire, le Soleil, la Lune et les planètes, chaque objectif ou chaque miroir est donc caractérisé, comme pour la séparation des étoiles multiples, par une constante déterminée, qui diffère d'ailleurs de son pouvoir séparateur et qui varie, comme lui, avec l'intensité même de la source.

Nous appellerons cette nouvelle constante *constante de diffraction instrumentale*, pour bien en rappeler l'origine; et avec les hypothèses que nous avons faites et les restrictions qui les ont accompagnées, nous sommes autorisés à dire que, pour un objectif ou un miroir de 10 centimètres d'ouverture, sa valeur est

2",8.

Une autre conséquence également importante découle immédiatement de la théorie qui précède. Lors du passage d'une planète,

Vénus ou Mercure, sur le disque du Soleil, il existe pour celui-ci deux zones de lumière diffractée : la zone extérieure dont nous venons de parler et, en outre, une zone intérieure qui empiète sur la planète elle-même. Le diamètre de Vénus ou de Mercure, mesuré pendant le passage, devra donc être toujours plus petit que dans les conditions ordinaires d'observation; et, de plus, ce diamètre sera d'autant plus petit que l'ouverture de l'instrument sera moindre, la variation étant égale à la différence des constantes de diffraction instrumentale des instruments employés.

La vérification de ces deux lois a été faite comme il suit.

III. — Vérifications expérimentales.

1° Dans une lame de cuivre, argentée et polie sur une de ses faces, j'ai fait tailler une ouverture rectangulaire à arêtes bien rectilignes et de 2 centimètres de haut sur $1^c,5$ de large. On éclairait cette ouverture avec la lumière d'une lampe Drummond, tantôt par derrière pour avoir une source lumineuse directe, tantôt en avant et par réflexion pour avoir l'analogue d'une planète sur le disque du Soleil; on a obtenu ainsi :

	Diamètre.		
Ouverture en centimètres.	Éclairage direct.	Éclairage réfléchi.	Différence des diamètres.
6,5	35",53	30",76	4",77
1,7	39,62	26,93	12,69
6,5	37,12	30,26	6,86
2,9	38,67	29,80	8,87
1,7	42,05	27,54	14,51

2° Dans une lame de laiton noircie, j'ai fait pratiquer deux ouvertures rectangulaires de 3 centimètres de haut sur $1^c,5$ de large, séparées par un espace de $1^c,5$, et dont les bords étaient bien rectilignes et taillés en biseau. En éclairant cette lame par derrière avec la flamme d'une lampe Drummond, on avait ainsi deux sources lumineuses d'un certain diamètre apparent, séparées l'une de l'autre par un intervalle obscur. Le diamètre extérieur était celui d'une source lumineuse directe; le diamètre intérieur correspondait évidemment au cas d'une planète mesurée sur le Soleil.

Cette disposition expérimentale était d'ailleurs préférable à la précédente; car, pour les deux diamètres, les conditions d'éclairement étaient identiques; j'ai obtenu ainsi, avec une excellente lunette de 4 pouces qui m'a été prêtée par MM. Brunner :

Ouverture en centimètres.	Diamètre extérieur.	Diamètre intérieur.
6,5	121″,15	36″,13
3,0	122,17	34,48
1,7	125,86	31,46

Avec une autre lunette de 4 pouces, de foyer un peu plus long, on a eu :

Ouverture en centimètres.	Diamètre extérieur.	Diamètre intérieur.
5,1	131″,20	39″,63
2,4	134,98	37,18
1,2	141,51	31,58

IV. — Vérification astronomique.

1° *Passages de Mercure et de Vénus.* — L'une des conditions essentielles que l'on doit rechercher, si l'on veut trouver dans les observations astronomiques la vérification de la loi que nous venons d'énoncer, est de ne comparer entre elles que les observations faites dans les mêmes conditions d'éclairement. Telles sont les mesures obtenues avec des instruments d'ouvertures différentes mais de construction identique, lors d'un même passage de Vénus ou de Mercure sur le disque du Soleil.

Passage de Mercure du 4-5 *mai* 1832.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
Bessel...	Héliomètre..	0m,160	11″,987	6″,697
Gambart.	Équatorial...	0,070	9,290	5,184

Passage de Mercure du 8 *mai* 1845.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
J. Schmidt.	Lunette..	0m,068	10″,853	6″,057
Mädler....	Équatorial	0,224	11,754	6,542
Mitchel...	Équatorial	0,265	11,580	6,522

Passage de Mercure du 8-9 novembre 1848.

Observateur.	Ouverture.	Diamètre mesuré.
	m	"
Dawes..	0,072	0,369
Dawes.......	0,102	9,389
Arago........	0,162	10,155

Passage de Mercure du 4 novembre 1868.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
		m	"	"
C. Wolf....	Équatorial.	0,204	9,430	6,367
J. Plummer.	» ..	0,165	9,001	6,077
O. Struve...	» ..	0,064	6,840	4,618

Passage de Vénus du 8-9 décembre 1874.

Observateur.	Instrument.		Diamètre mesuré.	Diamètre réduit à l'unité de distance.
		m	"	"
C[t] Mouchez.	Équatorial.	0,217	64,385	16,992
C[l] Tennant..	» ..	0,152	63,948	16,904

La vérification de la loi que nous cherchons à établir résulte du simple examen des tableaux qui précèdent; mais il y a plus, si, à l'aide des observations du passage de Mercure du 4 novembre 1868 et du passage de Vénus du 8-9 décembre 1874, on calcule la constante de diffraction instrumentale relative à une lunette de 10 centimètres d'ouverture, on trouve :

Pour le passage de Mercure.. 2",795
Pour le passage de Vénus.... 2",473

valeurs qui s'accordent de la manière la plus satisfaisante avec le nombre que nous a donné la théorie. Ainsi, lorsqu'une planète, fonctionnant comme corps opaque, limite une portion d'une source lumineuse très-intense, comme le Soleil, son diamètre diminue à mesure que l'ouverture de l'instrument augmente et la *constante de diffraction instrumentale,* relative à ce cas, peut être prise égale à

2",634.

2° *Observations de jour et de nuit des différentes planètes.* — La comparaison des nombres qui précèdent avec ceux obtenus dans les conditions ordinaires d'observation conduit aux deux conclusions suivantes :

a. Le diamètre de Vénus, mesuré pendant le jour, est plus petit que celui que l'on obtient pendant la nuit avec un instrument de même ouverture.

b. Les diamètres de Vénus ou de Mercure, mesurés soit pendant la nuit, soit pendant le jour, sont plus grands que ceux obtenus lors des passages de ces deux planètes sur le disque du Soleil.

V. — Ouverture annulaire.

Lorsqu'on recouvre au moyen d'un écran la partie centrale d'un objectif ou d'un miroir, de façon à n'en laisser nue, vers les bords, qu'une portion annulaire, on augmente le pouvoir séparateur de cet objectif ou de ce miroir. On serait donc porté à croire qu'on diminue, par cela même, la valeur de la constante de diffraction instrumentale qui lui correspond.

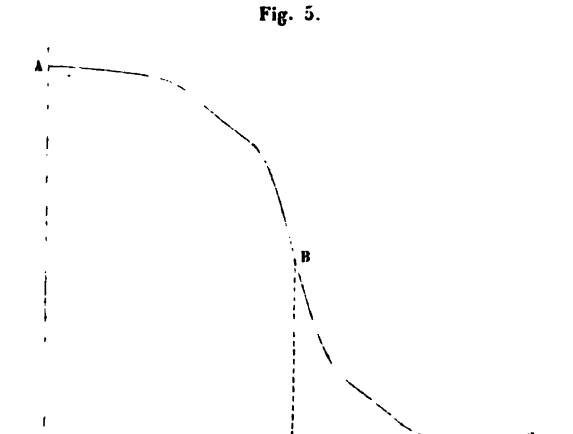
En réalité, l'inverse a lieu, et cette constante se trouve ainsi augmentée. Cet exemple est une nouvelle preuve que la constante de diffraction instrumentale est une caractéristique différente et indépendante du pouvoir séparateur, dont celui-ci n'est, pour ainsi dire, qu'un cas particulier.

C'est qu'en effet l'interposition d'un écran central a modifié la forme du solide de diffraction, en augmentant le volume relatif des parties qui sont situées au delà du premier minimum. Les phénomènes de diffraction sont dès lors fort amplifiés relativement à ce qu'ils sont lorsque l'ouverture est entière.

Le diamètre de l'écran central est moitié de celui de l'objectif. — Pour le prouver, j'ai calculé les portions successives du solide de diffraction correspondant au cas où le diamètre de l'écran central est la moitié de celui de l'objectif; leurs valeurs successives sont représentées par les ordonnées de la *fig.* 5. Cette figure montre que le décroissement de la lumière n'est absolument continu ni dans l'intérieur de l'image géométrique, ni dans la zone de lumière diffractée extérieure. Après avoir diminué d'une façon progressive,

l'intensité lumineuse reste sensiblement constante dans une certaine étendue, d'autant moindre d'ailleurs que l'ouverture est plus

Fig. 5.



grande. Il semble donc que, par suite de la discontinuité imposée, par ce diaphragme particulier, à la surface utilisée de l'objectif, on a introduit dans l'image elle-même une discontinuité réelle.

J'ai vérifié ce fait non-seulement sur des astres artificiels, mais aussi sur le ciel avec le grand équatorial de la tour de l'ouest de l'Observatoire de Paris ; je réduisais pour cela à 8 centimètres l'ouverture de son objectif et j'en couvrais le centre avec un écran de diamètre moitié moindre. On voit alors, autour de l'image de la Lune, une bande lumineuse d'environ 15 secondes de large, assez peu intense relativement à l'éclairement central, mais dont la lumière paraît sensiblement égale à celle des parties intérieures auxquelles elle succède, et qui par suite ne se sépare nullement du reste de l'image.

Ce fait est important : en effet, il prouve qu'avec un astre, comme la Lune à son premier quartier et observée en pleine nuit, l'œil perçoit dans la zone diffractée extérieure une lumière dont l'intensité est à peu près le $\frac{1}{15}$ de l'éclairement constant et maximum. Avec une source aussi intense que le Soleil, cette limite de perception doit s'abaisser, et il n'y a rien d'impossible à admettre, comme je l'ai fait plus haut, qu'elle s'abaisse à $\frac{1}{30}$.

On voit, en outre, que la diminution de l'intensité de la lumière

dans la zone diffractée est beaucoup moins rapide dans ce cas que dans celui où l'ouverture était entièrement libre, de telle sorte que la constante de diffraction instrumentale théorique, au lieu d'être

$$2'',8,$$

sera, dans le cas actuel, égale à

$$4'',0.$$

Le diamètre d'une source lumineuse, d'étendue angulaire finie, doit donc paraître plus grand, avec ce mode de diaphragme, que lorsque l'objectif ou le miroir était entièrement nu.

Inversement, lors du passage de Mercure ou de Vénus sur le disque du Soleil, le diamètre de la planète mesuré avec un objectif ainsi diaphragmé doit être moindre que celui qu'on aurait obtenu avec l'objectif entièrement nu. C'est ce que confirment les observations faites par M. Stephan pendant le passage de Mercure du 4 novembre 1868.

VI. — Application a quelques faits astronomiques et physiques.

Occultation des étoiles par la Lune. — Le diamètre apparent d'un astre n'étant pas une quantité fixe en un lieu et à un instant déterminé, mais variant avec l'ouverture de l'instrument employé, toutes les observations d'un astre à diamètre apparent sensible faites dans des conditions où l'on n'a pu observer que l'un de ses bords doivent être corrigées de la *diffraction instrumentale*. J'ai montré par de nombreux exemples (¹) combien d'anomalies apparentes cette correction nouvelle faisait disparaître. Je me contenterai d'étudier ici un cas particulier frappant, celui des occultations.

L'occultation d'une étoile par la Lune peut donner lieu à quatre observations différentes :

1° Disparition de l'étoile derrière le bord obscur de la Lune;
2° Réapparition de l'étoile au delà du bord obscur de la Lune;
3° Disparition de l'étoile derrière le bord éclairé de la Lune;
4° Réapparition de l'étoile au delà du bord éclairé de la Lune.

(¹) *Annales de l'École Normale*, t. V, p. 289; 1876.

De ces quatre espèces d'observations la première est évidemment la plus précise ; la dernière, au contraire, sujette aux causes d'erreur les plus considérables.

Quoi qu'il en soit, l'observation de l'un quelconque de ces quatre phénomènes détermine le point du limbe lunaire qui, à un instant donné, celui de l'occultation, a la même déclinaison et la même ascension droite que l'étoile occultée. On peut en déduire les coordonnées d'une *étoile fictive* qui serait, au même instant et pour un observateur placé au centre de la Terre, en contact avec le même point du bord de la Lune ; et, par suite, la *distance angulaire* de cette étoile fictive au centre de la Lune, c'est-à-dire le *demi-diamètre lunaire déduit de chaque occultation observée.*

Si la théorie qui vient d'être exposée est exacte, il est certain que les *diamètres d'occultation* résultant des observations faites sur le bord obscur de la Lune seront toujours plus petits que ceux qui s'obtiendront avec les observations faites sur le bord éclairé, et plus petits de la valeur de la constante de diffraction instrumentale relative à l'instrument considéré. La discussion des nombres donnés par de nombreuses occcultations doit donc fournir une nouvelle vérification des principes dont on a essayé de donner la démonstration. Malheureusement les observations de réapparition d'étoiles au delà du bord éclairé de la Lune sont trop peu précises pour qu'on puisse les faire entrer en ligne de compte, et l'on doit se borner aux trois premiers phénomènes cités en commençant.

Je prendrai, comme exemple, les observations faites à Greenwich avec un instrument déterminé, l'équatorial Est [de 6,7 pouces anglais ($0^m,18$) d'ouverture], de 1838 à 1852, période pendant laquelle le diamètre de la Lune donné par le *Nautical Almanac* a différé d'une quantité constante de la valeur qui résulte des observations faites simultanément à Greenwich et à l'altazimut.

On a ainsi soixante-huit observations de disparition d'étoiles derrière le bord obscur, conduisant en moyenne au nombre

$$-1'',98$$

comme correction au diamètre adopté, et vingt-cinq observations de réapparition au delà du même bord, donnant en moyenne la correction

$$-3'',11 ;$$

à cause de la différence des deux observations, il est convenable de ne pas prendre ces deux nombres séparément, mais bien plutôt de ne considérer que leur moyenne, laquelle est

$$-2'',54.$$

D'un autre côté, la même période fournit quinze observations de disparition derrière le bord lumineux de la Lune, dont l'ensemble donne pour correction nouvelle

$$-0'',80.$$

La différence des deux est

$$1'',74,$$

tandis que la constante théorique de diffraction instrumentale de l'équatorial Est de Greenwich est de

$$1'',55.$$

L'accord de ces deux nombres est aussi complet que le comportent les incertitudes de l'observation, tout aussi bien que celles qui existent sur la valeur même de la constante théorique adoptée.

Irradiation. — L'explication de tous les faits d'irradiation sérieusement établis et cités dans les Mémoires de M. Plateau et de M. Baden Powell découle immédiatement de la théorie qui précède.

Observée à l'œil nu, c'est-à-dire avec une lunette de très-petite ouverture, une surface limitée, laissée en blanc sur un fond noir, doit nous sembler plus grande que la même surface, laissée en noir sur un fond blanc.

Ces différences deviennent, au contraire, insensibles si l'on se sert d'une lunette d'assez grande ouverture; l'œil a pris alors un rôle différent : au lieu de fonctionner comme lunette, il est devenu une portion du système oculaire d'une lunette composée, qui a pour ouverture l'ouverture de l'objectif employé.

SÉANCE DU 2 JUIN 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Favé, élève ingénieur hydrographe de la marine ; Wiesnegg, constructeur.

M. Alvergniat fait fonctionner devant la Société un radiomètre formé de deux moulinets indépendants et superposés, dont les faces noircies sont opposées et tournent en sens inverse.

M. Govi fait connaître un appareil qui permet de viser, suivant une même direction et dans une même lunette, des objets situés dans des azimuts rectangulaires, par exemple une grandeur à mesurer et une échelle placée dans un plan vertical perpendiculaire à celui qui passe par l'axe de la lunette.

M. Gernez indique un procédé susceptible d'une grande précision pour déterminer la température de solidification d'un corps, et il applique ce procédé à l'étude des particularités que présente le soufre.

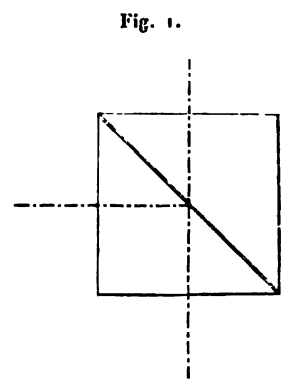
A propos de la communication de M. Tommasi, relative aux effets que produit la dilatation de l'huile dans un tube fermé, M. William Grosseteste écrit pour faire connaître un appareil inventé par M. de Peyer, ingénieur à Thun (Suisse), appareil qui a reçu déjà de nombreuses applications.

Application des couches d'or très-minces au perfectionnement des cathétomètres et des autres instruments de mesure ; par M. Govi.

On sait depuis longtemps que l'or en feuilles est transparent, et Faraday a même fait connaître de curieuses propriétés optiques dont jouissent les couches très-minces d'or et de quelques autres métaux. Il n'en est cependant aucun, parmi ceux qu'on a pu étudier jusqu'ici,

dont la transparence soit plus grande que celle de l'or. Quand on précipite ce métal en couches très-minces sur du verre préalablement lavé avec de l'acide azotique, de la potasse et de l'alcool pur, on peut en obtenir des voiles qui se laissent traverser par la lumière sans la colorer davantage que du *crown vert* de Dollond, et qui jouissent cependant d'un pouvoir réflecteur assez considérable. On dépose l'or sur le verre en faisant agir une solution d'aldéhyde sur du chlorure d'or alcalinisé par de la soude. Les voiles d'or ainsi obtenus ne seraient d'aucune utilité si on les étalait sur des lames de verre à faces planes et parallèles, car le moindre frottement les enlèverait, et la réflexion, par suite de la grande transparence de l'or, y donnerait des images doubles toutes les fois que les objets réfléchis ne seraient pas à des distances très-grandes. Mais si l'on couvre d'un voile d'or la face hypoténuse d'un prisme rectangle en verre (*fig.* 1), et si, après l'avoir chauffée, on la colle avec du baume du Canada contre l'hypoténuse d'un second prisme égal au premier, on obtient un cube transparent à section diagonale d'or, qui permet d'utiliser le léger voile métallique à peu près comme s'il était rigide et libre dans l'espace. Avec un de ces cubes, pendant qu'on regarde à travers deux de ses faces opposées et qu'on voit par transparence les objets légèrement teintés d'une nuance aigue-marine, on peut apercevoir en même temps d'autres objets réfléchis sur la

Fig. 1.



couche d'or qui donne à leurs images une légère coloration jaune. Ces deux images simultanées sont vues très-distinctement par l'œil, pourvu qu'elles soient d'égale intensité, et qu'elles proviennent d'objets également éloignés.

Cette espèce de miroir métallique transparent a pu déjà être appliquée à la construction d'un grand nombre de *chambres claires,* pour le dessin d'après nature, pour le microscope, pour les longues-vues, pour les télescopes, etc., et l'on a eu ainsi, outre tous les avantages des anciennes *chambres claires,* celui d'employer la pupille tout entière à la vision de chacune des deux images. Le dessinateur n'est plus alors assujetti à une immobilité gênante, mais il peut remuer la tête et déplacer l'œil à son gré sans jamais perdre de vue aucune des deux images dont il a besoin pour son travail.

Ces mêmes voiles d'or ont pu servir encore à la construction des sextants, des microscopes à plusieurs oculaires, des loupes micrométriques, etc., etc., et pourront recevoir beaucoup d'autres applications.

Parmi ces applications, il en est une dont nous allons parler et qui intéresse les physiciens, puisqu'elle a pour objet de simplifier et d'améliorer le cathétomètre. Cet instrument, tel qu'on a l'habitude de le construire, consiste en une lunette horizontale qu'on peut faire monter ou descendre le long d'une règle verticale divisée en millimètres et mobile autour d'un axe également vertical. Le cathétomètre n'est bon que s'il maintient l'axe optique de la lunette parfaitement horizontal pendant une rotation complète de la règle autour de la verticale. La plus légère déviation de la lunette tournante peut causer des erreurs considérables dans l'évaluation des hauteurs à mesurer. L'échelle divisée de l'instrument ne peut jamais avoir la précision qu'aurait une règle homogène, divisée à une température constante, dont on connaîtrait exactement le coefficient de dilatation, et qui n'aurait à subir aucune compression, aucun frottement, ni aucun tiraillement pendant la durée des expériences. Il est en outre assez fâcheux que l'observateur doive se tenir si près de cette échelle, puisque la chaleur de son corps ne peut manquer d'en altérer sensiblement et irrégulièrement les dimensions, sans qu'il soit toujours possible de les corriger d'après des observations thermométriques. On a essayé d'amoindrir ces inconvénients en plaçant la règle divisée à côté et à une certaine distance de l'observateur et de la longueur à mesurer. En visant alors l'objet avec la lunette, puis faisant tourner celle-ci de manière à la diriger sur l'échelle divisée, on peut y lire la division correspondante ; mais cette manœuvre suppose que l'axe optique de la lunette

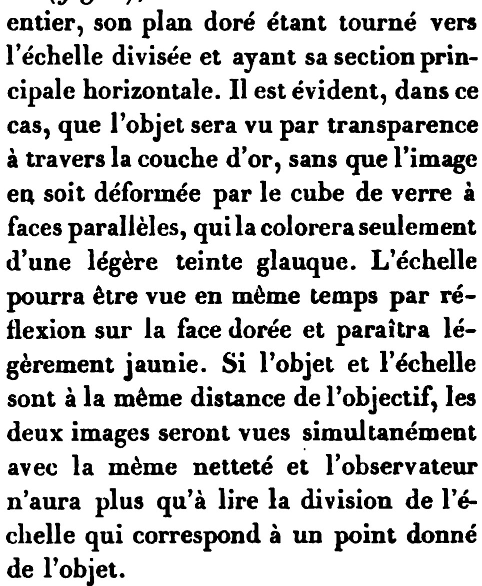
demeure dans un même plan horizontal pendant sa rotation, ce qui est excessivement difficile à réaliser et plus difficile encore à conserver quand on emploie souvent le cathétomètre.

L'usage d'un cube à section diagonale dorée permet au contraire de viser simultanément l'objet à mesurer et la règle divisée, assez éloignés l'un de l'autre et du corps de l'observateur, sans qu'il y ait jamais à craindre de dérangement relatif dans la direction des lignes visuelles.

Qu'on suppose pour cela un de ces cubes appliqué avec une face devant l'objectif de la lunette (*fig.* 2), de manière à le couvrir tout entier, son plan doré étant tourné vers l'échelle divisée et ayant sa section principale horizontale. Il est évident, dans ce cas, que l'objet sera vu par transparence à travers la couche d'or, sans que l'image en soit déformée par le cube de verre à faces parallèles, qui la colorera seulement d'une légère teinte glauque. L'échelle pourra être vue en même temps par réflexion sur la face dorée et paraîtra légèrement jaunie. Si l'objet et l'échelle sont à la même distance de l'objectif, les deux images seront vues simultanément avec la même netteté et l'observateur n'aura plus qu'à lire la division de l'échelle qui correspond à un point donné de l'objet.

Fig. 2.



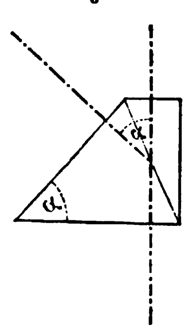


On évite donc ainsi l'échelle attachée au support de la lunette et sa rotation autour d'un axe vertical; la règle divisée est indépendante, éloignée, stable, et l'on a par conséquent bien moins d'erreurs à craindre dans les observations.

Deux niveaux en croix sur la lunette permettront d'assurer constamment l'horizontalité des deux axes visuels orthogonaux, et de la rétablir dans le cas où le transport de la lunette le long de la verticale aurait pu la déranger. Un seul niveau sphérique pourrait remplir le même but.

On pourrait construire des prismes réflecteurs pour observer simultanément dans deux azimuts comprenant entre eux un angle α quelconque, en dorant la base (*fig.* 3) d'un prisme isoscèle d'angle α, et en collant contre cette base l'hypoténuse d'un prisme rectangle

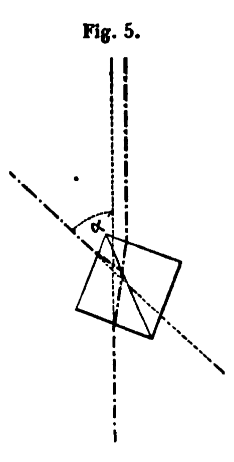
Fig. 3.



dont un des angles aigus serait égal à $\frac{\alpha}{2}$. Les rayons entrés par une des faces du premier prisme, après avoir été réfléchis par la face dorée, sortiraient normalement par la seconde face, et se confondraient ainsi avec ceux qui, ayant traversé directement le cathète du second prisme, iraient rencontrer la même face de sortie.

Il serait possible aussi de viser dans des azimuts différents, en

Fig. 5.



faisant tourner le cube réflecteur (*fig.* 4) autour d'un axe parallèle à l'une des arêtes contenues dans le plan diagonal doré.

Si l'on voulait employer des objectifs différents, il faudrait placer le cube à face dorée entre l'objectif et l'oculaire, et fixer les deux tuyaux portant les objectifs devant les deux faces actives du cube. Il serait possible, de la sorte, de grossir différemment les images des deux objets observés, et de mettre la lunette au point pour tous les deux en même temps, quoique situés à des distances différentes par rapport aux objectifs qui les regardent. Il n'y aurait qu'à donner dans ce cas un certain tirage aux tuyaux qui portent les objectifs pour pouvoir amener sur le même plan oculaire l'image directe et l'image réfléchie.

Pour vérifier ce cathétomètre, il suffit de substituer momentanément à l'objet qu'on doit observer une règle divisée exactement égale à la règle type, et de la comparer avec celle-ci. Les faces divisées des deux règles doivent être mises verticalement à l'aide de fils à plomb, et il faut les soutenir de manière qu'elles n'éprouvent pas de déformation sensible.

Les miroirs percés et les petits miroirs ou les petits prismes n'occupant qu'une partie de l'objectif, qu'on a employés dans quelques cas, sont bien inférieurs aux couches d'or transparentes enfermées dans des prismes de verre, puisqu'ils n'utilisent qu'une portion limitée des lentilles et donnent naissance, par conséquent, à deux images d'une netteté très-différente. La transparence des couches d'or est telle, qu'on pourrait même superposer les images de trois objets situés dans trois directions différentes en se servant de deux cubes à plan diagonal doré, placés l'un devant l'autre.

L'argent, le platine, etc., peuvent donner aussi des voiles réfléchissants et transparents à la fois, mais aucun de ces métaux n'a pu être obtenu jusqu'à présent en couches assez minces et assez continues pour pouvoir remplacer l'or, dont la nuance jaune (qu'on pourrait neutraliser, au besoin, par un verre bleu) n'a, du reste, aucun inconvénient pour les observations.

Détermination de la température de solidification des liquides, et en particulier du soufre; par M. D. Gernez.

La détermination de la température à laquelle s'effectue le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide, ou le passage inverse, présente, malgré son apparente simplicité, des incertitudes qui n'ont été dissipées que pour un nombre de substances relativement restreint, même lorsque le changement d'état se produit brusquement, c'est-à-dire lorsque le corps solide devient subitement liquide pour une variation infiniment petite de la température. La lenteur avec laquelle se produit la fusion d'un corps dans un bain à température constante peu supérieure au point de fusion et l'imparfaite conductibilité des substances qui permet à certaines régions du liquide d'atteindre des températures supérieures à celle de la partie non fondue ont conduit à substituer à la détermination du point de fusion celle, *supposée* identique, du point de solidification ; mais il arrive souvent dans ce cas que les mesures se trouvent faussées par suite des phénomènes de surfusion. On peut, comme je vais l'indiquer, utiliser ces phénomènes pour déterminer la température de solidification des liquides avec une précision qui n'est limitée que par la patience de l'expérimentateur.

A cet effet, on met dans un tube de verre de 3 centimètres de diamètre, fermé à un bout, une quantité du corps solide telle, qu'à l'état liquide il forme une couche de 5 à 6 centimètres de hauteur ; on dispose, suivant l'axe du tube, un thermomètre retenu par un bouchon et dont le réservoir, assez petit pour n'avoir sur la température du liquide ambiant qu'une influence négligeable, descend jusqu'à quelques millimètres du fond du tube sans le toucher; puis on détermine la fusion du corps en l'introduisant dans un bain d'eau ou de paraffine de quelques degrés supérieur au point de solidification présumé. Lorsque le corps est entièrement fondu, on amène le tube dans un bain à température constante inférieure à la température cherchée, et l'on attend que les indications de deux thermomètres, l'un intérieur, l'autre extérieur, ne diffèrent que très-peu. On accélère ce résultat en faisant tourner le tube autour

de son axe, ce qui ne provoque pas la solidification, à moins que, dans ce mouvement, le thermomètre ne frotte contre les parois du tube baignées par le liquide. Le corps étant ainsi à l'état de surfusion, on introduit par un deuxième trou du bouchon une fine aiguille de verre dont l'extrémité est recouverte d'une très-petite quantité de la matière à l'état pulvérulent, et l'on amène cette extrémité dans le liquide dont elle détermine aussitôt la solidification. Pour activer le phénomène, on fait tourner le bouchon autour de son axe, ce qui déplace la tige et promène cylindriquement les germes cristallins autour du thermomètre. On suit alors les indications de cet instrument, qui atteint bientôt un maximum, lequel n'est sûrement pas supérieur au point de solidification, mais peut lui être inférieur. On recommence alors l'expérience en prenant pour température du bain ambiant le maximum précédent, et, en opérant de la même manière, on détermine la solidification du liquide; on trouve que le thermomètre indique un maximum supérieur au précédent. Après deux ou trois essais de ce genre, on arrive à des températures qui ne diffèrent les unes des autres que d'une fraction de degré négligeable; on prend la température la plus élevée pour température de solidification de la substance, en lui faisant subir la correction provenant de ce que toute la tige du thermomètre n'est pas baignée par le liquide.

J'ai mis à profit la précision que comporte ce procédé, notamment pour éclaircir les diverses particularités que présente le changement d'état du soufre, et voici quels sont les principaux résultats auxquels je suis parvenu :

Le résultat le plus simple est relatif au soufre insoluble dans le sulfure de carbone obtenu par épuisement de la fleur de soufre : la solidification de cette variété se produit à 114°,3, quelle que soit la température à laquelle on l'ait fondue ; ainsi, dans toutes les expériences, je n'ai pas trouvé une différence supérieure à $\frac{1}{10}$ de degré entre la température de solidification de soufre qui a été porté à l'ébullition et celle où se solidifie le même corps qui n'a été chauffé qu'à 170 degrés et même à 121 degrés.

Cette constance du point de solidification ne se retrouve pas dans les autres variétés. Pour le soufre octaédrique, la température de solidification est la plus élevée quand on a produit la fusion à la

température la plus basse possible, par exemple à 121 degrés: dans ce cas, elle atteint 117°,4; si l'on a porté le liquide à 144 degrés, elle n'est plus que 113°,4; elle descend à 112°,2 pour le soufre maintenu cinq minutes à 170 degrés, température où il est très-visqueux et où, suivant les expériences de M. Berthelot, se produit le maximum de soufre insoluble; à partir de cette valeur, elle s'élève rapidement à 114°,4, température de solidification du soufre qui a été porté aux diverses températures comprises entre 200 et 447 degrés. Cette dernière valeur est sensiblement la même que celle qui correspond à la solidification du soufre insoluble.

Il doit sembler singulier, à première vue, que le point de solidification du soufre octaédrique chauffé à 170 degrés soit inférieur de plus de 5 degrés au point de solidification du soufre fondu à 121 degrés et de plus de 2 degrés à celui du soufre insoluble, bien que le soufre chauffé à 170 degrés ne soit qu'un mélange contenant une fraction de son poids de soufre insoluble. On peut se rendre compte de cette particularité si l'on assimile un mélange de soufre soluble et de soufre insoluble aux alliages qui sont plus fusibles que chacun des métaux qui entrent dans leur constitution.

Quant au soufre prismatique, la température de sa solidification dépend de son état antérieur. S'il provient du soufre insoluble, il se comporte comme lui; cependant, lorsqu'on le soumet à plusieurs fusions et solidifications successives, en ne dépassant pas beaucoup la température de fusion, le point de solidification peut s'élever de plus d'un degré. De même, s'il provient de soufre octaédrique, son point de solidification dépend de la température à laquelle on l'a porté. Ainsi, lorsqu'il provient de soufre chauffé à 170 degrés, dont le point de solidification est 112°,2 et qu'il a été liquéfié entre 120 et 123 degrés, la température de solidification s'élève graduellement à chaque fois, et, après un nombre de fusions et de cristallisations suffisant, elle redevient égale à 117°,4.

Il résulte évidemment de là que le soufre prismatique, qui n'est généralement obtenu que par voie de fusion et cristallisation spontanée, ne peut pas être considéré comme une substance ayant toujours des propriétés identiques, bien qu'elle soit cristallisée, les cristaux ayant un point de solidification qui dépend de la température à laquelle ils ont été portés antérieurement. Il faut sans doute attribuer les différences observées à l'existence d'une certaine

quantité de soufre insoluble mélangée au soufre soluble en proportions qui dépendent de la température à laquelle on a chauffé le corps soumis à l'expérience, et qui diminuent à mesure qu'on l'expose à un plus grand nombre de fusions et solidifications successives aux plus basses températures possibles.

Le soufre mou, le soufre en fleur et le soufre en canons conduisent, comme on pouvait s'y attendre, à des résultats intermédiaires entre ceux que j'ai signalés pour le soufre insoluble et le soufre octaédrique qui entrent tous deux dans leur constitution.

Ces particularités rendent compte de la diversité des nombres donnés pour la température du changement d'état du soufre par des observateurs dont il n'y a pas lieu de mettre en doute l'habileté: je vais rappeler quelques-uns de ces nombres pour montrer les écarts qu'ils présentent, bien qu'il s'agisse d'un des corps qu'il est extrêmement facile d'obtenir à l'état de pureté. Berzelius indique 104°,5, M. Dumas 107, Thenard 108, Dalton 108-109, Wöhler 111, Marchand et Scheerer 111,75-112, Frankenheim 112°,2. M. Brame 110-113, M. Pisati 113-113°,5, M. Regnault 113°,6, M. Brodie 114°,5 (octaédrique), Person 115°, M. Brodie 120° (prismatique), M. Silvestri 124°-125°.

Ces résultats font voir aussi combien sont tenaces les modifications qui résultent de la trempe du soufre, puisqu'il faut, pour les faire disparaître, un nombre considérable de fusions et de cristallisations successives.

Nouvelle application des effets de la dilatation d'un liquide.
Lettre de M. W. Grosseteste.

Je lis dans le compte rendu de la séance du 17 courant une intéressante communication de M. Tommasi, relative aux effets que produit, dans un tube fermé, la dilatation de l'huile, et pour lesquels il propose d'utiliser la chaleur provenant des vapeurs perdues.

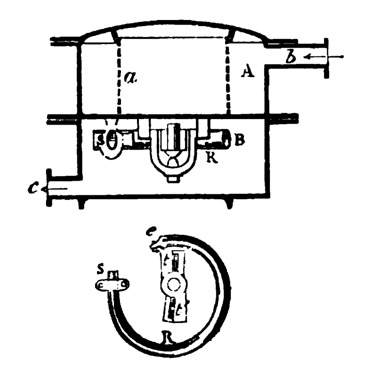
J'ai pensé que peut-être il ne serait pas sans intérêt de vous communiquer le dessin d'un appareil dont la construction repose sur le même principe. Cet appareil, inventé par M. de Peyer, in-

génieur à Thun (Suisse), a reçu déjà de nombreuses applications.

Dans un tube métallique fermé, et contourné suivant une circonférence, M. de Peyer enferme de l'huile minérale: exposé à des variations de température, ce tube tend à se redresser, et les extrémités se rapprochent ou s'éloignent.

C'est ce mouvement qui a été utilisé pour agir sur un obturateur quelconque, robinet, tiroir ou valve. Appliqué à une conduite de vapeur ou d'eau chaude, par exemple, on comprend que ce système puisse servir à régler l'écoulement du fluide à une température constante.

Dans le croquis ci-joint, l'appareil est supposé appliqué à une



conduite de vapeur, ou plutôt à un récipient de vapeur, dont on désire régler l'écoulement d'eau condensée à l'exclusion de la vapeur elle-même. Le mélange d'eau condensée et de vapeur pénètre par *b* dans un vase A et de là dans une capacité *a* fermée par un cylindre de tôle percé de trous.

Dans une capacité B, placée au-dessous de la première, est placé le tube R fixé en S, et dont l'extrémité libre *e* est reliée à un tiroir *tt'*, qui ouvre ou ferme des ouvertures pratiquées dans la cloison qui sépare les deux capacités A et B. Tant qu'il s'écoule seulement de l'eau chaude, le tiroir reste ouvert; mais, dès que la vapeur se présente, la température augmentant, le tiroir se ferme.

Cette disposition a été modifiée par l'inventeur pour être appliquée aux circonstances diverses qui réclament l'utilisation du système.

SÉANCE DU 16 JUIN 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le Président de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg est élu membre de la Société.

M. Egoroff présente à la Société un appareil à l'aide duquel il se propose d'étudier l'absorption de certains milieux des rayons lumineux de diverses réfrangibilités.

M. Mouton fait fonctionner devant la Société l'appareil qui lui a servi à étudier les phénomènes qui se produisent dans le fil induit lorsqu'on interrompt le courant inducteur.

M. Jamin fait connaître les résultats de ses expériences sur les effets de la trempe et du recuit sur le magnétisme que l'on peut communiquer à l'acier quand on l'aimante au maximum.

Électro-actinomètre différentiel; par M. Égoroff.

L'appareil que je vais décrire est construit pour déterminer les coefficients d'absorption des rayons ultra-violets par les différents corps [1].

Il se compose de deux actinomètres de Becquerel A, A' (*fig.* 1). Chacun de ces actinomètres consiste en une boîte parallélépipédique de verre, ayant deux faces opposées de quartz. Ces boîtes sont recouvertes de plaques de caoutchouc durci et portant chacune deux fentes, dans lesquelles se fixent les plaques d'argent iodurées.

Les deux actinomètres, remplis aux trois quarts d'une solution d'acide sulfurique monohydraté dans l'eau (2 grammes d'acide sul-

---

[1] Des recherches analogues ont été faites par :

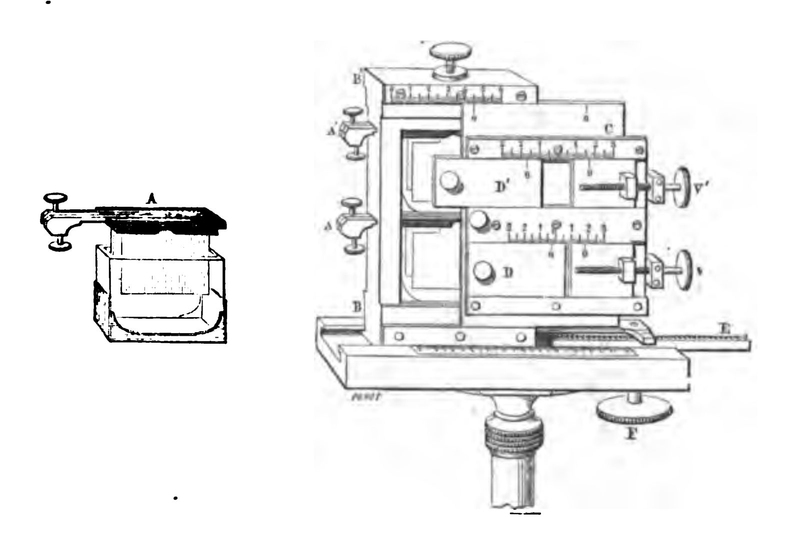
1° E. Becquerel, *La lumière, ses causes et ses effets;*

2° Allen-Miller, *On the photographic transparency of various bodies and on the photographic effects of metallic and other spectra obtained by means of the electric spark.* (*Phil. Trans.* London, t. CLII, p. 811-887.)

furique pour 100 grammes d'eau), sont placés, l'un au-dessus de l'autre, dans une boite commune en bois BB'; les deux surfaces CC de cette boîte, correspondant aux plaques de quartz des actinomètres, sont mobiles dans des coulisses adaptées à la boite BB'. L'une des plaques mobiles est munie de deux fentes superposées correspondant aux deux actinomètres, fentes qu'on peut agrandir à l'aide des vis micrométriques V, V'.

Dans mes recherches, j'ai combiné ces actinomètres, l'un opposé à l'autre, et j'ai observé, à l'aide d'un galvanomètre à réflexion très-sensible, le courant différentiel qui s'était produit sous l'influence de la lumière sur les plaques.

Pour faire les expériences dans les mêmes conditions, c'est-à-dire avec la même sensibilité des plaques, j'ai disposé mon appareil de manière que les fentes fussent mobiles sur toute la longueur des plaques, en sorte que l'effet de la lumière pût porter alternativement sur les différentes parties de ces plaques. En outre, faisant tourner l'appareil sous un angle de 180 degrés, je puis exposer les



plaques de l'autre côté. Cette boîte, commune aux actinomètres, dans les différentes parties du spectre, peut se déplacer au moyen d'une crémaillère E, à l'aide d'un bouton F.

La méthode d'observation avec cet électro-actinomètre différen-

tiel est très-simple. J'ai pris une ouverture égale pour les deux fentes, en réglant quatre plaques des actinomètres à la même sensibilité.

Je place ensuite le corps absorbant que je veux étudier entre la lumière et la fente correspondant à l'un des actinomètres (par exemple celui du bas). Je note les déviations du galvanomètre : 1° quand un seul des actinomètres est ouvert; 2° quand les deux agissent à la fois. Avant d'appliquer cette méthode à la détermination des coefficients d'absorption, j'ai fait quelques études préliminaires pour étudier la marche du phénomène et la régularité des indications de l'appareil.

Voici quelques résultats :

1° On peut préparer sans difficulté quatre plaques de la même sensibilité de telle façon que le courant différentiel soit nul ; tandis que chaque actinomètre donne un courant équivalent de 100 à 300 divisions de la règle ([1]).

2° L'intensité du courant est proportionnelle aux largeurs des fentes sous l'influence de la lumière, par exemple :

Largeur des fentes.	Déviation observée.	Déviation calculée.
1^{mm}	25	25
2	50	50
4	100	100
6	150	150
2	43	43
4	88	86
10	208	215
5	45	45
10	90	90

3° L'intensité du courant est inversement proportionnelle au

(1) Si, après avoir iodé quatre plaques d'argent à la fois, on trouve quelque différence dans la sensibilité, on peut toujours rendre cette sensibilité égale par l'action temporaire de la lumière diffuse sur l'une ou sur l'autre des plaques, jusqu'à ce que le courant différentiel soit nul.

carré de la distance de la source lumineuse à l'appareil; j'ai fait les expériences avec une lampe à l'huile, en les répétant dix fois pendant vingt minutes.

J'ai obtenu toujours les mêmes déviations :

Distance.	Déviation.
40^{cm}	15
20^{cm}	60

4° Avec des lentilles de quartz et un prisme de spath d'Islande, le spectre avait 35 millimètres de hauteur et 60 millimètres de longueur. La fente avait 2 millimètres d'ouverture. J'ai observé des déviations très-concordantes dans différentes parties du spectre solaire, à $4^h 25^m$ du soir, le 12 juin. Par exemple, entre *g* et H, la déviation était de 270 déviations de la règle; pour la raie R, elle était de 28 et entre T et V elle était de 4 divisions.

Ces expériences me paraissent démontrer qu'il y a proportionnalité exacte entre l'intensité de la lumière et celle du courant. La grande sensibilité et la précision de mon appareil montrent qu'il peut être considéré comme un photomètre très-délicat. Je me réserve de l'appliquer à l'étude d'un certain nombre de questions.

Ces premières expériences ont été faites au laboratoire de Physique du Collége de France, et mon appareil a été construit dans les ateliers de M. Duboscq.

SÉANCE DU 7 JUILLET 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Ducretet réalise devant la Société, avec le radiomètre de M. Crookes, l'expérience suivante : On expose l'instrument à l'action de la flamme d'une bougie et, quand le moulinet est en pleine activité, on refroidit sa surface, en utilisant le froid produit par l'évaporation de l'éther. Le moulinet s'arrête et, si l'on continue

l'action réfrigérante, il tourne en sens inverse, puis s'arrête et revient dans le sens du mouvement primitif, mais avec une vitesse plus grande.

M. Gernez présente à la Société des tubes contenant les deux variétés prismatique et octaédrique du soufre produites à la même température et indique le procédé employé pour les obtenir.

M. Lippmann expose ses recherches sur l'électrisation de l'eau par l'intermédiaire d'un fil de platine fin dont l'extrémité est seule en contact avec le liquide.

Après quelques observations de M. Mascart et de M. Ed. Becquerel, la séance est levée.

Des circonstances dans lesquelles se produisent les deux variétés de soufre; par M. D. Gernez.

On sait que le soufre peut affecter deux formes cristallines incompatibles, l'octaèdre droit à base rectangulaire, que l'on prépare généralement par évaporation spontanée des solutions dans le sulfure de carbone, et le prisme oblique symétrique que l'on obtient par voie de fusion. Ces deux espèces de cristaux peuvent se transformer l'une dans l'autre à des températures convenables : ainsi chaque prisme maintenu à la température ordinaire se divise avec dégagement de chaleur, sans changer de forme extérieure, en une multitude de petits cristaux octaédriques, et de même les octaèdres suffisamment chauffés éprouvent une dévitrification analogue et se transforment en prismes. Je me suis attaché à préciser les circonstances dans lesquelles se produisent ces deux variétés de soufre, sans intervention d'aucun dissolvant, et voici quels sont les résultats de cette étude.

Supposons d'abord que l'on opère avec du soufre provenant de solutions dans le sulfure de carbone : si, après l'avoir fondu, on l'abandonne au refroidissement dans un bain-marie, en le préservant du contact de poussières de soufre, il sera facile de le main-

tenir à l'état de surfusion à une température bien plus basse que celle où on le solidifierait par le contact d'un germe cristallin. Dans ces circonstances, le soufre peut devenir solide sous deux influences : par un refroidissement rapide de l'un des points de la masse liquide ou par un procédé dont j'ai depuis longtemps signalé la généralité, le frottement de deux corps solides au sein du liquide. On réalise facilement le premier cas en touchant avec un corps froid un point de la surface extérieure du vase qui contient le liquide ; la solidification commence en face du point refroidi et se propage dans toute la masse liquide avec une vitesse d'autant plus grande que la température est plus éloignée du point de fusion.

Pour solidifier le soufre par action mécanique, on introduit au préalable dans le liquide un long fil de verre, et, quand il est à une température convenable, on appuie sur le fil de manière que son extrémité frotte contre le fond du tube ; on voit aussitôt naître aux points frottés des cristaux qui envahissent rapidement tout le liquide. J'ai reconnu que les cristaux qui se produisent dans ces deux cas sont toujours des prismes aux températures supérieures à 60 degrés et jusqu'à la température de fusion du soufre prismatique. Pour opérer aux températures inférieures à 60 degrés, où le moindre mouvement communiqué au tube pourrait provoquer la solidification, ce qui ne permet pas d'être maître de l'expérience, il suffit de produire des gouttes de soufre surfondu par le procédé signalé depuis longtemps par M. L. Dufour, que j'ai modifié de la manière suivante. Dans un tube étroit on introduit d'abord une solution très-concentrée et chaude de chlorure de zinc plus dense que le soufre, on lui superpose une dissolution moins concentrée, plus légère que le soufre, on y laisse tomber un petit fragment de soufre et l'on chauffe. Le soufre donne un globule liquide qui flotte à la surface de séparation des deux solutions. Par un refroidissement lent du tube, on peut amener les globules à la température ordinaire et même à zéro degré. Si l'on provoque la solidification de ces globules par un refroidissement brusque ou par le frottement entre deux corps solides, il ne se produit jamais que des prismes, reconnaissables parce qu'au bout de quelque temps ils se dévitrifient, deviennent plus pâles et enfin, comme nous le verrons plus loin, à ce qu'ils produisent dans du soufre surfondu des cristaux prismatiques. Ainsi, quelle que soit la température

entre zéro et 117°,4, point de fusion du soufre prismatique (qui n'a pas subi antérieurement une température supérieure à 130 degrés), la forme du soufre produit spontanément ou par action mécanique est la forme prismatique, bien que cette forme ne soit pas stable aux températures où elle se produit; car, quelle que soit leur origine, ces cristaux prismatiques, abandonnés à la température ordinaire, perdent peu à peu leur transparence, ce qui les fait paraître d'un jaune plus pâle. Il en est de même des cristaux qui se produisent lorsqu'on sème dans le soufre surfondu un cristal prismatique, lequel ne donne jamais que des prismes.

Mais il est une influence capable de produire des octaèdres aux températures où naissent spontanément des prismes : c'est celle d'un germe cristallin octaédrique. Vient-on, en effet, à amener dans le soufre surfondu un cristal octaédrique assez petit pour ne pas le refroidir brusquement, il s'y développe graduellement jusqu'à solidification complète de tout le liquide. L'accroissement de ces cristaux est beaucoup plus lent que celui des prismes : cela doit tenir principalement à ce que la chaleur dégagée pendant la solidification des octaèdres est plus grande que celle qui se produit dans la formation des prismes. On voit, d'après cela, qu'il est possible de faire naître à une même température, dans du soufre surfondu, les deux variétés cristallisées du soufre, comme je l'ai fait voir antérieurement pour le cas des solutions dans la benzine, le sulfure de carbone, etc. La seule condition à remplir est d'opérer à une température inférieure à 113 degrés, qui est sensiblement le point de fusion du soufre octaédrique. On réalise commodément l'expérience de la manière suivante : on prend un tube de verre de 1 centimètre de diamètre, on le courbe à la lampe en forme d'U, de façon que les deux branches soient aussi rapprochées que possible ; on met du soufre dans une des branches, on le fond à 125 ou 130 degrés dans un bain de chlorure de calcium : il passe alors en partie dans l'autre branche. On préserve le liquide contre les poussières extérieures par des capuchons de papier placés sur les orifices du tube, puis on introduit le tube dans un bain-marie, par exemple dans un ballon contenant de l'eau maintenue en ébullition : le soufre resterait indéfiniment liquide dans ces conditions ; mais, si l'on enlève le papier qui couvre l'un des orifices du tube et si on y laisse tomber une petite par-

celle de soufre octaédrique, on voit aussitôt naître à la surface du liquide un cristal octaédrique, qui est retenu par capillarité sur cette surface et se développe de haut en bas, envahissant graduellement les couches inférieures du liquide. Cette solidification sans changement de la température ambiante, étant accompagnée d'une diminution de volume, et la surface libre primitive étant solidifiée, il se fait au-dessous un vide qui fait baisser dans l'autre branche du tube le niveau du liquide d'une quantité qui est à peu près $\frac{1}{7}$ de la hauteur primitive lorsque les octaèdres sont descendus jusqu'à la partie coudée. A ce moment, si l'on veut avoir des prismes dans l'autre branche, il suffit de découvrir son orifice et de toucher le liquide avec un fil de verre portant un cristal prismatique. En quelques secondes, les prismes viennent rencontrer les octaèdres dans la partie coudée, et comme, à la température de l'expérience, les deux espèces de cristaux sont translucides, il est impossible de les distinguer les uns des autres. Mais vient-on à laisser refroidir le tube pendant quelques minutes, au point où ils rencontrent les octaèdres, les prismes deviennent opaques et prennent une teinte blanchâtre qui s'étend peu à peu dans toute la région prismatique, laquelle contraste aussi, par son opacité, avec les octaèdres, qui ont conservé leur transparence et leur couleur. On peut, du reste, produire facilement les mêmes effets dans un tube droit; il suffit de semer les octaèdres à la surface et, lorsque la moitié supérieure du liquide est solidifiée, de toucher avec un corps froid l'extrémité inférieure du tube, par exemple d'amener rapidement avec une pipette quelques gouttes d'une solution froide et concentrée de chlorure de calcium : on produit ainsi des prismes dans la moitié inférieure du liquide; ou bien, après avoir semé un octaèdre à la surface, on le détache par un mouvement convenable communiqué au tube; il tombe alors au fond du liquide, y grossit lentement de bas en haut, et, lorsque la moitié inférieure du liquide est transformée en octaèdres, on sème des prismes à la partie supérieure, et ils envahissent le reste du liquide.

Les octaèdres que l'on fait croître dans le soufre surfondu présentent une limpidité d'autant plus grande qu'ils se sont formés plus lentement, c'est-à-dire à une température plus élevée. Vers 111 et 112 degrés, ils mettent plus d'une heure pour atteindre 1 centi-

mètre d'épaisseur; ils ne se produisent plus lorsque la température ambiante atteint 113 degrés. A cette température, le soufre octaédrique entre en fusion s'il est en parcelles très-petites, c'est-à-dire susceptibles d'être amenées rapidement en totalité à la température de fusion. Au contraire, s'il est en fragments de quelques millimètres d'épaisseur, pour peu que la température ambiante s'élève au-dessus du point de fusion, chaque fragment, après avoir éprouvé la fusion à sa surface, se dévitrifie à l'intérieur en donnant des prismes microscopiques au contact desquels se solidifie la partie fondue, qui se remplit alors de petits prismes nettement visibles : cet effet se produit tant que la température ambiante ne dépasse pas 117°,4, qui est, comme je m'en suis assuré, le point de fusion du soufre prismatique, lequel se confond avec le point de solidification du soufre d'abord octaédrique fondu au-dessous de 130 degrés.

J'ai supposé que, pour réaliser les expériences précédentes, on se servait de soufre octaédrique : on arrive aux mêmes résultats en faisant usage de soufre en canon ordinaire; dans ce cas, si l'on veut facilement obtenir le soufre surfondu à des températures très-inférieures au point de fusion, il convient de fondre le soufre à une température plus élevée et d'opérer dans des tubes très-propres, afin d'éviter la coloration permanente qui résulte de l'action des matières organiques sur le soufre fortement chauffé.

Sur une propriété d'une surface d'eau électrisée et sur la polarisation des électrodes; par M. G. Lippmann.

Lorsqu'on veut montrer la décomposition de l'eau par l'électricité, on emploie d'ordinaire un voltamètre muni de deux électrodes dont l'une sert à l'entrée, l'autre à la sortie du courant de pile. Cette disposition est commode pour produire une abondante décomposition de l'eau; mais elle constitue une expérience relativement complexe, et dont la complexité a pu masquer certaines conséquences de la loi élémentaire de l'électrolyse. Ce sont ces conséquences que nous allons essayer de démontrer.

On peut effectuer la décomposition de l'eau en n'employant qu'une seule électrode, ainsi que l'ont montré, sous diverses formes, MM. Buff, Grove, Andrews et Soret. L'expérience peut se faire de la manière suivante. Une masse d'eau isolée est contenue dans un vase en verre, de manière à constituer l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde. Cette masse d'eau est munie d'une électrode à la Wollaston, c'est-à-dire d'un fil de platine fin englobé dans du verre et ne touchant l'eau que par sa section extrême. Cela posé, on met le fil de platine en communication avec le conducteur d'une machine électrique. On voit alors un chapelet de fines bulles de gaz (oxygène) se dégager à la pointe qui sert d'entrée au flux d'électricité positive. Lorsque l'appareil est chargé, un seul des éléments de l'eau, l'oxygène, a été mis en liberté. Qu'est donc devenu l'hydrogène correspondant?

Tant que la masse d'eau reste chargée, cet hydrogène reste en excès. Si l'on décharge la masse d'eau, cet hydrogène se dégage à la pointe de platine, parce que celle-ci sert à ce moment d'électrode de sortie; remarquons que, d'après la loi de Faraday, la même charge électrique, qui dégage à l'entrée 1 équivalent d'oxygène, dégage à la sortie précisément 1 équivalent d'hydrogène. Ainsi l'eau, en revenant à l'état neutre, reprend sa composition normale; mais, pendant qu'elle est électrisée, elle contient un excès d'hydrogène proportionnel à la charge électrique qu'elle a reçue.

Il est clair que, si l'oxygène seul se dégage, l'hydrogène reste en excès; mais, demandera-t-on, ne se peut-il pas que l'hydrogène soit mis en liberté au sein du liquide ou bien à sa surface, au fur et à mesure que l'oxygène qui lui correspond se dégage à la pointe de platine? D'après cette manière de voir, tout se passerait comme s'il y avait dans le liquide deux électrodes, l'une constituée par la pointe de platine, et l'autre en quelque sorte diffuse ou de grande surface.

L'objection qui vient d'être rapportée ne peut guère être réfutée par une expérience directe, car les quantités de gaz mises en jeu sont assez faibles pour échapper facilement à l'observation si elles étaient disséminées. Mais on peut montrer nettement l'impossibilité de l'hypothèse qui vient d'être exposée, en considérant les quantités de travail chimique et électrique mises en jeu pendant l'expérience. On peut faire cette démonstration de plusieurs manières.

Première démonstration. — Pendant que l'eau acquiert sa charge, une quantité d'électricité Q passe du platine, où le potentiel électrique est V_0, à l'eau où le potentiel est V_1. Le travail électrique correspondant est donc égal à $(V_0 - V_1)Q$ ou bien à $(Pt_o) \times Q$, en désignant par (Pt_o) la différence de potentiel qui existe entre une électrode du platine, où se dégage de l'oxygène, et l'eau. Pendant la décharge, la même quantité d'électricité Q repasse de l'eau où le potentiel est V'_1 au platine où le potentiel est V'_0. Le travail électrique correspondant est donc égal à $(V'_1 - V'_0)Q$ ou bien à $-(Pt_H) \times Q$, en désignant par (Pt_H) la différence de potentiel qui existe entre une électrode de platine où se dégagent l'hydrogène et l'eau. La somme des travaux électriques correspondant à la charge et à la décharge est donc égale à

$$[(Pt_o) - (Pt_H)]Q.$$

Or, dans un voltamètre à deux électrodes traversé par un courant de pile, la différence de potentiel des deux fils de platine est précisément $(Pt_o) - Pt_H$, et le travail électrique correspondant au passage de la quantité d'électricité Q a donc également pour expression le produit écrit ci-dessus. Dans un voltamètre à deux électrodes, ce travail électrique correspond à la décomposition de Q équivalents d'eau. Or, si, dans l'appareil à une seule électrode, il se dégageait pendant la charge, d'une part, Q équivalents d'oxygène au platine et Q équivalents d'hydrogène dans le sein de l'eau, et ensuite Q équivalents d'hydrogène au platine et Q équivalents d'oxygène dans l'eau, il y aurait en tout 2Q équivalents d'eau décomposée. On ne peut admettre que le travail électrique qui correspond à la décomposition de Q équivalents d'eau puisse, dans l'appareil à une électrode, en décomposer une quantité double. Donc, dans l'appareil à une seule électrode, le phénomène de la charge ou bien celui de la décharge, pris séparément, correspond à la mise en liberté d'un seul des éléments de l'eau. Chacun d'eux produit une *demi-décomposition* de l'eau; il faut la somme des deux phénomènes pour mettre en liberté l'un et l'autre des éléments de l'eau.

Deuxième démonstration. — Nous nous proposons de montrer qu'il ne peut y avoir mise en liberté d'un élément de l'eau qu'à la

surface de contact de l'eau et d'une électrode d'autre matière. Il suffit évidemment pour cela de montrer que, dans une masse d'eau homogène, aucune décomposition chimique n'accompagne les déplacements d'une charge électrique.

A cet effet, considérons une sphère d'eau isolée S et une sphère de cuivre électrisée C. Les deux sphères s'attirent avec une force dirigée suivant la ligne des centres. On peut faire tourner la sphère C autour de la sphère S en maintenant la distance des deux sphères constante; ce mouvement n'exige aucune dépense de travail, puisque le mouvement se fait dans une direction perpendiculaire à la force.

Dans ce mouvement, la distribution d'électricité développée par influence sur la sphère S se déplace en suivant la sphère C. Le mouvement d'électricité qui en résulte dans la sphère S ne peut y mettre en liberté les éléments de l'eau; car autrement on décomposerait l'eau à l'aide du mouvement de la sphère C, lequel mouvement n'exige aucune dépense de travail.

Ainsi la considération du travail chimique montre que la quantité d'énergie électrique dépensée au passage d'*une* seule électrode est insuffisante pour mettre en liberté les *deux* éléments de l'eau, et qu'ainsi la théorie confirme l'observation. Lorsqu'on électrise positivement une masse d'eau isolée, on en dégage de l'oxygène; l'hydrogène correspondant reste fixé jusqu'au moment de la décharge. Cet hydrogène *dissimulé* est en quantité proportionnelle à la charge électrique acquise. Il en résulte que cet hydrogène en excès se trouve réparti à la surface électrisée de la même façon que la charge électrique. En effet, si l'on évide un conducteur quelconque, et en particulier une masse d'eau électrisée, en enlevant des masses d'eau quelconques dans son intérieur, mais sans modifier la surface, on ne change pas la charge que ce conducteur reçoit dans des circonstances données, et qu'il cède ensuite au moment de la décharge; en d'autres termes, un conducteur creux se comporte exactement comme un conducteur plein de même forme. On ne change donc pas la quantité d'hydrogène dissimulé, en enlevant une portion intérieure quelconque de la masse d'eau; donc cet hydrogène se trouve réparti à la surface de l'eau. Dans le cas où la masse d'eau forme l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde, cet hydrogène se trouve, comme la charge électrique, presque en totalité à la surface de contact du verre et de l'eau.

Une quantité d'électricité Q, en pénétrant dans la masse d'eau, dégage à l'électrode d'entrée Q équivalents d'oxygène; il reste donc Q équivalents d'hydrogène en excès ou dissimulés, et, en effet, Q unités d'électricité dégagent en sortant de la masse d'eau précisément Q équivalents d'hydrogène. On doit tirer de là deux conséquences :

1° Les actions chimiques ou physiques (oxydation, diffusion) sont sans effet aucun sur l'hydrogène dissimulé, tant que ces actions ne diminuent pas la quantité Q, c'est-à-dire tant que, en appliquant ces actions, on ne détruit pas l'isolement électrique de la masse d'eau;

2° Inversement, toute action qui diminue la charge électrique Q doit diminuer dans le même rapport la quantité d'hydrogène dissimulé.

L'étincelle et l'effluve électriques sont du nombre de ces dernières actions. Et, en effet, cette conclusion a été vérifiée par l'expérience : par Faraday pour le cas des effluves ou de la décharge par aigrettes; par M. Buff pour le cas de l'étincelle; M. Buff a même vérifié que la quantité d'hydrogène (ou d'oxygène) mise en liberté par les étincelles est proportionnelle à la quantité d'électricité positive (ou négative) soutirée par ces étincelles, conformément à ce qui a été établi dans ce travail.

On sait que Faraday a été guidé dans toutes ses recherches par une idée constante; rejetant l'hypothèse d'actions électriques à distance comme une abstraction stérile, il a cherché à ramener à des lois communes les phénomènes qui ont lieu à distance sensible et les phénomènes qui ont lieu de proche en proche au contact apparent. Les résultats que nous avons établis permettent peut-être de compléter sur un point le rapprochement cherché par Faraday.

On a remarqué depuis longtemps que le système formé par une masse d'eau et une lame de platine plongeant dans cette eau possède les propriétés électriques d'un condensateur à lame extrêmement mince, dont l'armature intérieure serait formée par l'eau et l'armature extérieure par le platine, condensateur où la capacité serait très-grande, et où les limites entre lesquelles peut varier la différence de potentiel entre les armatures seraient très-rapprochées: ces deux propriétés sont des conséquences nécessaires de la minceur de la lame isolante.

D'autre part, on a observé que, lorsque le potentiel de l'eau devient plus élevé que celui du platine, il y a accumulation d'hydrogène à la surface de séparation des deux corps. Cette accumulation d'hydrogène a été regardée jusqu'ici comme particulière aux systèmes formés par un liquide et une électrode polarisables. Or nous avons vu qu'un condensateur ordinaire, c'est-à-dire formé de deux conducteurs séparés par une distance sensible, jouit également de cette propriété de retenir de l'hydrogène dissimulé en quantité proportionnelle à la charge positive, ou de l'oxygène dissimulé en quantité proportionnelle à la charge négative. Sur ce point donc l'analogie est complétée.

De plus, on a montré plus haut que, lorsqu'il y a décharge entre la masse d'eau et le corps éloigné qui fait fonction d'armature extérieure, il y a dégagement d'hydrogène ou d'oxygène, suivant que le passage du fluide positif a lieu de l'eau vers l'intérieur ou en sens contraire.

Le même fait se produisant pour le système formé par l'eau et le platine en contact apparent a pour conséquence le dégagement gazeux qu'on observe en effet aux électrodes. Nous ne pouvons achever de développer ici l'analogie que nous avons signalée et qui s'étend aux forces mécaniques développées dans les deux systèmes.

SÉANCE DU 21 JUILLET 1876.

PRÉSIDENCE DE M. ED. BECQUEREL.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus Membres de la Société : MM. Hureau de Villeneuve, Varin, professeur de physique au Collége d'Épinal; Hipp. Josse, ancien élève de l'Ecole Polytechnique; Dalman, ingénieur à Barcelone (Espagne).

M. Sidot répète devant la Société quelques-unes de ses expériences. Il fait voir que le charbon de bois obtenu par l'action du sulfure de carbone sur le bois chauffé à une haute température jouit d'une sonorité comparable à celle des métaux; il est aussi rendu

beaucoup plus conducteur. Le coton, le chanvre, le papier carbonisés dans les mêmes conditions peuvent être faiblement rendus incandescents dans un bec de gaz, mais, comme les métaux, ils s'éteignent lorsqu'on les retire de la flamme.

Il présente aussi à la Société le produit de l'action de la lumière sur le bisulfure de carbone. C'est le protosulfure de carbone, corps solide qui se dépose dans le sulfure de carbone insolé. Il contient moitié moins de soufre que le sulfure de carbone, et l'on retrouve le reste du soufre à l'état de soufre soluble en dissolution dans le liquide non encore décomposé.

La blende hexagonale préparée par déplacement à haute température dans un courant de gaz sulfureux présente une phosphorescence verte d'une intensité remarquable, que l'on peut observer très-facilement pendant le jour après action de la lumière diffuse, ou le soir après l'action d'une source lumineuse intense, comme la lumière du magnésium.

De la grenaille d'argent, baignée par du sulfure de carbone et contenue dans un matras scellé à la lampe, s'électrise par l'agitation du matras légèrement chauffé, en même temps qu'il se produit des jets de lumière à l'intérieur.

L'auteur présente aussi des échantillons d'oxyde de fer magnétique obtenus soit par combustion d'un tube de fer, soit par calcination du colcotar, et les fragments disposés au moment de leur formation parallèlement à l'aiguille d'inclinaison ont des pôles placés comme ceux de cette aiguille.

M. Marié-Davy présente à la Société les appareils dont il va se servir pour déterminer les constantes magnétiques d'un certain nombre de localités, en vue de compléter et de rectifier la carte magnétique de la France.

Magnétisme terrestre; par M. Marié-Davy.

J'ai l'honneur de présenter à la Société deux théodolites boussoles : l'un de Brünner, grand modèle; l'autre de Lorieux, très-petit modèle, muni d'une aiguille à pivot, et servant dans la Marine aux opérations hydrographiques. Ces deux appareils ont été

modifiés de manière à donner la déclinaison, l'inclinaison et l'intensité magnétique.

Pour l'*inclinaison*, on ajoute à l'instrument un barreau de fer doux, mobile autour d'un point situé à 15 millimètres d'une de ses extrémités et situé sur la ligne horizontale qui part du centre de l'aiguille, perpendiculairement à la direction de cette dernière. Le barreau étant d'abord vertical et au-dessus de son axe de rotation, l'aiguille est déviée; on tourne l'appareil jusqu'à ce que cette aiguille revienne entre ses repères. On met ensuite le barreau dans la verticale au-dessous de son axe de rotation, ce qui produit une nouvelle déviation de l'aiguille, mais en sens contraires. La demi-somme des écarts donne un premier angle δ. On recommence l'opération, le barreau horizontal dirigé d'abord vers le nord, puis vers le sud, ce qui donne un second angle δ'. L'inclinaison i est donnée par la formule

$$\operatorname{tang} i = B \frac{\sin \delta}{\operatorname{tang} \delta'}.$$

A cause de l'inertie magnétique du fer, il est bon de répéter les lectures en alternant les positions du barreau. B est une constante que l'on détermine à l'avance par comparaison avec une bonne boussole d'inclinaison.

Dans une excursion faite pour expérimenter ces appareils, la grande boussole de Brünner n'a pas donné de bons résultats, parce que le barreau de fer doux, trop faible et trop éloigné de l'aiguille, donnait des déviations trop faibles. Avec le petit théodolite Lorieux à pivot, qui donne à peine la minute, on a obtenu les résultats suivants :

	Inclinaison observée.	Inclinaison conclue de la carte.
Amiens...........	66°.21′	66°.19′
Saint-Valery.......	66.38	66.37
Boulogne.........	66.57	66.57
Dunkerque........	67. 4	67. 5

Pour mesurer l'*intensité absolue*, on enlève le barreau de fer doux, et l'on place une seconde aiguille aimantée au-dessus de l'aiguille mobile, de manière que leurs centres soient sur la même

verticale et qu'elles soient en croix. L'aiguille supérieure ayant d'abord son pôle nord à l'est, on tourne l'appareil jusqu'à ce que l'aiguille déviée soit remise entre ses repères; puis on renverse bout pour bout l'aiguille supérieure jusqu'à ce que l'aiguille déviée en sens contraire revienne entre ses repères : la moitié de l'angle ainsi parcouru par l'appareil est la moyenne déviation, produite par l'aiguille fixe sur l'aiguille mobile. L'aiguille fixe est alors suspendue, soit à la place de l'aiguille fixe, soit dans une boîte spéciale pour mesurer la durée t d'une de ses oscillations. La composante horizontale F de la force magnétique terrestre est donnée par la formule

$$F = \frac{1}{t}\sqrt{\frac{A}{\sin\delta}},$$

dans laquelle A est une constante que l'on détermine à l'Observatoire par comparaison avec une bonne boussole d'intensité.

Voici les résultats obtenus, soit avec la boussole Brünner B, soit avec la boussole Lorieux, L :

	Valeur de F.	Observateur Descroix.	Instrument.
Perpignan.........	2,218	D	B
Carcassonne.......	2,175	D	B
Pau...............	2,167	D	B
Tarbes............	2,159	D	B
Agen..............	2,121	D	B
Toulouse..........	2,111	D	B
Périgueux.........	2,093	D	B
Clermont..........	2,076	D	B
Lyon..............	2,059	D	B
Châteauroux.......	2,027	D	B
Orléans...........	1,964	D	B
Fontainebleau.....	1,937	MD	B
Paris, fortifications.	1,925	D-MD	B
Amiens............	1,870	MD	B
Saint-Valery......	1,156	MD	B-L
Boulogne..........	1,851	MD	L

La boussole Lorieux pèse quelques kilogrammes : sa boîte est assez petite pour qu'on puisse toujours la garder avec soi en che-

min de fer; elle peut donc rendre des services, soit sur le continent, soit dans les voyages d'exploration. Sa précision est suffisante; elle peut être accrue en remplaçant le pivot par un court fil de cocon.

SÉANCE DU 17 NOVEMBRE 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Lippmann résume les recherches qui ont été faites sur le mouvement des corps solides dans l'air raréfié sous l'influence de la lumière.

M. Jabloschkoff présente à la Société une nouvelle lampe électrique.

De quelques recherches récentes sur le radiomètre de Crookes; par M. Lippmann.

Les expériences de M. Crookes ont attiré de nouveau l'attention des physiciens sur l'ancienne question de la force motrice de la lumière, soulevée déjà par Euler; son radiomètre a provoqué un grand nombre d'expériences et de théories intéressantes ([1]). On se rappelle notamment les expériences de MM. Dewar et Tait, montrant que le mouvement est déterminé par l'inégalité de température des deux faces de chaque palette; et les expériences de Schuster montrent que la force qui meut les palettes prend son point d'appui sur l'enveloppe de verre de l'instrument. Enfin on sait par quelle théorie ingénieuse MM. Dumas et Tait, et M. Johnstone Stoney ont rattaché les propriétés du radiomètre à la théorie des gaz de Bernoulli. Ces travaux sont assez connus pour qu'il soit inutile de les exposer. Aujourd'hui nous nous proposons seulement de résumer l'état actuel de la question.

([1]) *Voir* les *Annales de Chimie et de Physique*, et le *Journal de Physique*, t. IV, p. 58, et t. V p. 220 et 366.

I. La question capitale soulevée par le radiomètre était celle-ci : le mouvement est-il dû au choc direct de la lumière, ou bien à une force développée à l'intérieur de l'instrument? Dans le premier cas, les particules de l'éther et le moulinet sont les seuls agents du mouvement; dans le second cas, la force motrice prend son point d'appui sur le verre de l'enveloppe. On se rappelle que M. Schuster, pour résoudre cette question, a rendu mobile l'enveloppe de verre, et constaté que cette enveloppe était mue aussi bien que le moulinet, mais en sens inverse. M. Crookes vérifia ce résultat pour le cas où, la cage flottant sur l'eau, le moulin est arrêté par une attraction magnétique; mais, dans le cas où le moulinet reste libre, M. Crookes trouva que la cage tourne d'un mouvement très-lent dans le sens du moulinet.

M. A. Righi a repris ces expériences ([1]). Il a fait flotter le radiomètre sur l'eau, dans un vase à bords graissés, afin d'éviter que la capillarité n'attirât le radiomètre vers les bords du vase. L'enveloppe de verre du radiomètre portait un miroir servant à mesurer les petites déviations angulaires. M. Righi observa que, lorsque la vitesse du moulinet commence à s'accélérer sous l'action de la lumière, l'enveloppe de verre tourne en sens inverse du moulinet; lorsque la vitesse du moulinet est devenue constante, le mouvement de l'enveloppe de verre s'arrête; enfin, lorsque la vitesse du moulinet diminue, l'enveloppe est entraînée dans le sens où tourne le moulinet. Le moulinet et l'enveloppe sont donc soumis à chaque instant à des couples accélérateurs de sens contraires.

En suspendant l'enveloppe du radiomètre au fil de torsion de la balance de Coulomb, M. Righi a retrouvé les mêmes phénomènes, modifiés seulement par la torsion du fil : lorsque le moulinet subit une accélération positive, l'enveloppe exécute un mouvement en sens inverse, limité par la torsion du fil; lorsque l'accélération du moulinet est nulle ou sa vitesse constante, l'angle de torsion se réduit à zéro; lorsque la vitesse du moulinet diminue, l'angle de torsion change de signe en même temps que l'accélération du moulinet. Ces phénomènes, observés par M. Righi, dans le cas de la torsion, avaient déjà été signalés par M. Schuster, qui se servait d'une suspension bifilaire, au lieu d'un simple fil ([2]).

([1]) *Scienza applicata*, vol. I, parte II, fasc. 8. Bologne.

([2]) *Proceedings Roy. Soc.*, vol. XXIV, p. 391.

Voici un petit appareil imaginé par M. Salet pour mettre en évidence cette réaction de l'air sur les parois. Ici le moulinet est fixe; par contre, un disque léger en mica, placé au-dessous, est mobile au moyen d'une chape sur une pointe d'aiguille. Le disque d'abord immobile subit, dès qu'on éclaire l'instrument, la réaction de l'air, et il se met à tourner avec une vitesse croissante dans un sens opposé au sens où aurait tourné le moulinet.

M. Righi montre, par une expérience très-élégante, que les couples de forces qui agissent, d'une part, sur l'enveloppe, d'autre part, sur le moulinet, sont *égaux* et de sens contraires. Il suspend de nouveau l'instrument, mais la tête en bas; dans ce cas, aucune lumière, si intense qu'elle soit, ne produit de mouvement. Le moulinet dans cette position repose, non sur les pointes d'aiguille, mais sur le tube de garde; il devient par là solidaire de son enveloppe. Les forces qui suffisaient pour produire le mouvement relatif des deux parties ne tendent pas à déplacer le système qu'elles forment lorsqu'elles les ont rendues solidaires : ces forces obéissent donc à la loi d'égalité de l'action et de la réaction; en d'autres termes, elles sont tout entières intérieures à l'instrument. M. Righi admet, comme MM. Dewar et Tait, que ces forces sont dues à l'air qui reste dans l'instrument.

II. Il y a, en effet, de l'air dans l'instrument; l'expérience montre même que cet air produit des effets de frottement très-notables. M. A. Kundt (¹) dispose sur le moulinet un disque horizontal très-léger en mica, qui tourne avec le moulinet. Un second disque en mica, mobile sur une pointe d'aiguille, est disposé à une petite distance au-dessus du premier, mais il en est d'ailleurs complétement indépendant. Cela posé, lorsque le disque inférieur se met à tourner, on voit le disque supérieur, d'abord immobile, entraîné peu à peu dans le mouvement du disque inférieur; le mouvement est transmis d'un disque à l'autre par le frottement de l'air qui les sépare.

M. Crookes (²) met la viscosité de l'air du radiomètre en évidence en suspendant le moulinet du radiomètre à un fil de cocon, au lieu de le faire porter par une pointe d'aiguille; ce fil est attaché à un

---

(¹) *Ann. de Pogg.*, n° 7, 1876, p. 868 et 660. — *Voir* aussi Kundt et Warburg, *Ann. de Pogg.*, t. CLV, p. 337 et 525; t. CLVI, p. 177.

(²) *Proceedings of the Royal Society*, t. XXV, p. 136 (juin 1876).

bouchon de verre lubrifié par du caoutchouc fondu, et invariablement fixé à un support. Cela posé, lorsque, en l'absence de toute lumière, on fait tourner l'enveloppe autour du bouchon comme axe, celui-ci restant fixe, le moulinet est entraîné par le mouvement de l'enveloppe, grâce à la viscosité de l'air très-raréfié qu'elle contient. On sait que le coefficient de frottement d'un gaz est indépendant de sa densité. Cette propriété remarquable a été établie par des expériences de M. C. Maxwell, de M. Meyer, et, en dernier lieu, de MM. Kundt et Warburg ; elle se justifie par la théorie de M. Maxwell, fondée sur l'hypothèse de Bernoulli. M. Crookes a vérifié cette propriété pour la raréfaction obtenue dans le radiomètre. D'après M. Crookes, la viscosité de l'air sec, mesurée par le décroissement logarithmique des oscillations d'un levier, reste à peu près constante pour toutes les pressions mesurables au manomètre ; même lorsqu'on a dépassé le degré de vide qui empêche la production de l'étincelle d'induction, la diminution du frottement de l'air est peu sensible ; bien au delà de ce degré de vide, la viscosité diminue plus rapidement. Mais alors, comme le fait remarquer M. Kundt, une des conditions de la théorie de M. Maxwell n'est plus remplie ; la distance moyenne qu'une molécule peut parcourir, sans en rencontrer une autre, n'est plus négligeable par rapport aux dimensions du vase. Ainsi, dans un radiomètre, il reste encore assez de gaz pour que le frottement de ce gaz soit très-facile à mettre en évidence.

III. Si l'air contenu dans le radiomètre est la cause du mouvement, on doit s'attendre à voir la vitesse dépendre de la pression de l'air, et tendre à disparaître quand le vide devient presque parfait. C'est, en effet, ce qu'ont observé plusieurs expérimentateurs. M. Crookes (1) a constaté que la force motrice va d'abord en croissant, en même temps que la raréfaction de l'air, jusqu'à un maximum. Si l'on continue à raréfier l'air, la force diminue. M. Crookes ajoute : « La force de la radiation n'agit pas instantanément ; il lui faut un temps appréciable pour atteindre sa valeur maximum, ce qui prouve, comme le pensait le professeur Stokes, que la force est un effet, non direct, mais indirect de la radiation. » L'auteur ajoute à la fin de son travail : « Les expériences que je viens de résumer

(1) *Proceedings Roy. Soc.*, 15 juin 1876 ; *Comptes rendus* du 11 septembre 1876.

brièvement me paraissent démontrer presque avec certitude que la répulsion produite par la radiation est due à l'action de la chaleur thermométrique échangée entre la surface du corps en mouvement et les parois du récipient de l'instrument par l'intermédiaire du gaz raréfié restant dans son intérieur. Cette explication est, du reste, conforme aux récentes recherches sur la dernière constitution de la matière et sur la théorie des gaz. »

M. Alvergniat (1) paraît avoir obtenu un vide encore plus parfait que ceux de M. Crookes. Il fait le vide dans un radiomètre dépourvu de toute substance poreuse (les palettes sont en aluminium et argent) et maintenu, pendant qu'on y fait le vide, à 400 degrés dans de la vapeur de soufre. L'instrument vidé dans ces conditions a perdu toute sa sensibilité pour la lumière; il reprend son mouvement, au contraire, lorsqu'on y laisse rentrer de l'air.

M. Finkener (2) a également constaté que la répulsion apparente produite par la lumière va en croissant jusqu'à un maximum, quand la raréfaction augmente, pour décroître ensuite quand le vide devient plus parfait; il évalue la pression au moyen du nombre de coups de piston de la pompe à mercure. Afin de pouvoir ensuite pousser le vide plus loin, l'auteur a recours à l'absorption chimique. A l'enveloppe du radiomètre sont soudées des annexes en verre contenant: 1° du permanganate de potasse pur destiné à fournir de l'oxygène par l'action de la chaleur; 2° du cuivre métallique destiné à absorber cet oxygène à chaud; 3° de la chaux vive pour absorber la vapeur d'eau. L'instrument ayant été lavé à l'oxygène, rempli d'oxygène pur et fermé à la lampe, M. Finkener porta la branche qui contient le cuivre métallique à 110 degrés, et il mesura la vitesse du moulinet de dix minutes en dix minutes. Il vit que cette vitesse, croissant d'abord avec le temps, diminue ensuite jusqu'à s'annuler. Il parvint ainsi à réduire la sensibilité de l'instrument au vingtième de sa valeur maximum.

M. Finkener développe par le calcul l'explication qu'il adopte pour ces phénomènes et qui ne diffère pas de celle adoptée par Dewar et Tait et les autres physiciens dont nous avons parlé. Ce

(1) *Comptes rendus* du 24 juillet 1876.
(2) *Ann. de Pogg.*, juillet 1876.

calcul lui fournit, pour la pression que doit avoir l'air dans un des radiomètres qu'il emploie lorsque la vitesse est maximum, la valeur de $0^{mm},007$ de mercure : l'expérience a sensiblement confirmé ce résultat.

M. Finkener a vérifié par l'expérience un autre résultat de la théorie : un radiomètre tourne d'autant plus vite que l'intervalle laissé entre les ailettes et la paroi de l'enveloppe est plus petit. C résultat est utile à noter pour la construction des radiomètres.

IV. M. Righi explique facilement, au moyen de la même théorie, l'expérience suivante qu'il décrit, et qui a été faite d'autre part par M. Jamin (¹). On chauffe par contact un point de l'enveloppe de verre; on voit alors ce point se comporter comme un centre de répulsion : les deux palettes les plus voisines se mettent en équilibre à égale distance du point chauffé, et oscillent autour de cette position d'équilibre, lorsqu'on les en a écartées. D'après M. Righi, ce point est le sommet d'une gerbe divergente de molécules gazeuses qui ont pris, en le touchant, une vitesse plus grande correspondant à sa température plus élevée. Le choc de ces molécules repousse chaque palette, et cela d'autant plus que cette palette, en se rapprochant du sommet, intercepte une plus grande partie de la gerbe.

On a répété, sous plusieurs formes différentes, une expérience qui s'explique comme la précédente, et qui consiste à faire agir sur la palette du radiomètre, non une source de chaleur, mais une source de froid; il y a encore rotation, mais, dans ce cas, le sens de la rotation est renversé. Le radiomètre, après avoir été porté à une température plus élevée, est abandonné de nouveau à l'action refroidissante du milieu ambiant (Frankland) (²); ou bien le radiomètre, pris à la température ambiante, est plongé dans de l'eau froide (de Fonvielle); ou encore on verse de l'éther sur l'enveloppe de verre (Ducretet) (³). M. Crookes avait observé depuis longtemps qu'une aiguille de glace, substituée à une bougie, attire la palette que la bougie repoussait. Ainsi que le font observer M. Frankland et M. Righi, le phénomène s'explique en remarquant que les faces

(¹) *Comptes rendus*, 24 juillet 1876, p. 273.
(²) *Nature*, 19 octobre 1876.
(³) *Comptes rendus*, 3 juillet 1876.

des palettes qui ont le plus grand pouvoir absorbant ont aussi le plus grand pouvoir émissif; ce sont donc celles qui se refroidissent le plus vite par rayonnement. Les rôles des deux faces d'une palette étant intervertis, le *sens de la rotation est renversé.*

V. Actuellement donc, tous les auteurs qui ont étudié le radiomètre expérimentalement, et en particulier M. Crookes, sont d'accord pour admettre une même théorie, et pour y faire rentrer les diverses expériences décrites plus haut.

On se rappelle le trait essentiel de cette théorie commune aujourd'hui à tous les expérimentateurs : la force motrice est due à la dilatation, à l'accroissement de pression, que l'air éprouve au contact de la face la plus chaude de chaque palette ; et cet accroissement de pression *ne se transmet pas* au reste de l'air raréfié contenu dans le radiomètre, ainsi que cela aurait lieu si cet air était à la pression atmosphérique. Si cet accroissement de pression se répartissait également dans tout l'intérieur de l'instrument, il ne tendrait pas à produire un mouvement. Ainsi la propriété caractéristique des corps fluides, l'égale transmission des pressions, ne s'étend pas à l'air très-raréfié du radiomètre. Ce paradoxe apparent se trouve être une conséquence directe de l'ancienne hypothèse de Daniel Bernoulli, hypothèse aujourd'hui remise en vigueur, comme on sait, et très-utile pour l'étude des gaz. Un gaz est un système discontinu de molécules indépendantes, parfaitement élastiques, et animées d'un rapide mouvement de translation; leurs chocs contre les parois constituent la pression. Le choc des molécules entre elles, s'il a lieu, constitue le mécanisme par lequel se produit l'égale répartition de la pression ; si, au contraire, les molécules sont assez rares pour pouvoir traverser un espace donné sans s'y rencontrer, la transmission de la pression n'a pas lieu dans cet espace. C'est ainsi que, dans un radiomètre où l'air est suffisamment raréfié, les molécules échauffées (ou à grande vitesse) et les molécules froides se croisent sans se heurter, ces deux sortes de molécules constituent deux systèmes qui restent indépendants, et dont chacun exerce la pression correspondant à la vitesse qui lui est propre. L'emploi de l'hypothèse de Bernoulli est peut-être le point faible de la théorie; mais, d'autre part, la conséquence singulière qui en résulte paraît propre à expliquer ou à suggérer d'autres expériences que celles du radiomètre.

Quant à l'action mécanique directe qu'exercerait la lumière, on peut dire que le radiomètre a mis en évidence la difficulté qu'il y aurait à montrer cette action par l'expérience. Ce problème, qui a servi de point de départ à M. Crookes, est encore à résoudre. L'action de la lumière existe peut-être néanmoins; il se peut qu'une force de ce genre, incapable d'agir sur le radiomètre, puisse, au contraire, comme l'a pensé M. Faye, déformer visiblement les comètes, corps dont la surface est immense par rapport à leur masse, et qui sont parfaitement libres dans l'espace.

Nouvelle lampe électrique; par M. Jabloschkoff.

J'ai l'honneur de présenter à la Société une nouvelle lampe ou bougie électrique d'une construction extrêmement simple.

Au lieu de placer les deux charbons l'un en face de l'autre et dans le prolongement de l'autre, suivant la méthode généralement adoptée, je les place l'un à côté de l'autre et je les sépare au moyen d'une matière isolante, brique pilée, kaolin, talc, etc.

Les deux extrémités supérieures des charbons sont libres; l'arc voltaïque s'établit entre elles.

A mesure que les charbons se consument, la matière isolante, qui est d'abord fondue au voisinage immédiat de l'arc voltaïque, se vaporise ou s'échappe en fumée.

Pour maintenir l'accord de longueur entre les deux charbons, je donne à l'un deux (le positif) une section plus grande qu'à l'autre.

Ces deux charbons et l'isolant constituent, à proprement parler, la bougie électrique qui se place dans un chandelier spécial. Ce chandelier se compose de deux pièces métalliques isolées l'une de l'autre et montées sur une base d'ardoise ou de quelque autre matière.

Ces deux pièces constituent une pince dans laquelle sont serrés les deux charbons, de manière à établir un bon contact. Les deux fils de la pile aboutissent à cette pince.

Pour allumer la bougie, il faut, si elle est à portée de la main, établir la continuité du circuit avec un morceau de charbon qu'on appuie sur le sommet de la bougie, et qu'on enlève ensuite.

Si la bougie doit être allumée à distance, on doit mettre à l'avance un petit morceau de métal entre les bouts de charbons; quand le courant commence à passer, ce métal fond, se volatilise, et l'arc voltaïque s'établit.

Deuxième partie.

On répète habituellement que le charbon positif se consume dans l'arc voltaïque deux fois plus rapidement que le négatif. Cette proportion n'est exacte qu'avec une pile de 50 à 60 couples de Bunsen.

Mais, si la force de la source électrique augmente ou diminue, la proportion change. Avec plus de 60 éléments, la consommation du charbon positif est relativement plus rapide; avec moins d'éléments, elle est relativement moins rapide.

Cette variation, d'ailleurs peu considérable, ne se produit que lorsque la tension de la source varie elle-même; en effet, mes expériences ont été faites en général avec deux machines Gramme, l'une de 100, l'autre de 200 becs Carcel; la vitesse étant la même, la tension était sensiblement la même, la quantité seule était différente d'une machine à l'autre. Dans ces conditions, j'ai employé des charbons de section 100 et 49, qui ont été convenables pour une vitesse réglée à 750 ou 850 tours à la minute.

Quand la vitesse augmentait et avec elle la tension, la consommation du charbon positif augmentait; quand la vitesse diminuait, la consommation du charbon positif diminuait par rapport au charbon négatif.

Pour l'expérience que je fais devant vous, avec 100 éléments Bunsen en tension, la proportion à laquelle je me suis arrêté est de 36 à 16.

Au point de vue pratique, je crois préférable d'envelopper les deux charbons d'une gaîne protectrice, comme le carton d'amiante

que vous voyez ici. Le principal objet de cette protection est d'éviter l'action comburante de l'oxygène sur les charbons, action qui peut, dans certains cas, modifier la proportion de l'usure des deux charbons.

Si l'on étudie la combustion de cette bougie, on observe un phénomène assez particulier. Entre les deux charbons, on voit une goutte de matière isolante fondue par la chaleur de l'arc voltaïque; cette matière isolante, à l'état solide, devient conductrice à l'état liquide; et, si l'arc s'allonge par trop entre les pointes de charbon et s'interrompt, le courant continuant à passer dans la goutte liquide rétablit l'arc à sa surface.

Cette conductibilité de la matière fondue me permet même de produire un arc d'une longueur qu'il n'atteindrait pas sans l'interposition de cette matière.

Cela me donne le moyen d'obtenir deux ou plusieurs arcs voltaïques dans un même circuit.

Je suis parvenu à obtenir quatre lumières simultanées avec une machine Gramme de 100 becs; l'expérience réussit couramment avec deux et trois.

Avec les piles, j'ai fait jusqu'ici peu d'essais et seulement à l'occasion de cette soirée; je n'ai pas essayé plus de deux lumières.

SÉANCE DU 1er DÉCEMBRE 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus membres de la Société : MM. Colmet-d'Huard, directeur de l'Athénée à Luxembourg (Belgique); Faye, membre de l'Institut ; Denayrouse (L.), ancien élève de l'Ecole Polytechnique ; Lecoat (Elie), sous-directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie); Meurien, pharmacien à Lille ; Amédée Paul, directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie) ; Payn (John), sous-directeur de l'Eastern Telegraph, à Marseille; Serrin (V.), ingénieur; Walferdin, à Nice.

M. Mouton fait connaître les expériences qu'il a entreprises pour vérifier la formule donnée par M. Mascart dans son *Traité d'électricité* comme représentant le moment du couple qui tend à dévier l'aiguille mobile de l'électromètre de M. Thomson, et revient sur quelques détails des expériences sur l'induction qu'il avait présentées dans la séance du 16 juin 1876.

A l'occasion de cette communication, M. Mascart fait remarquer que, depuis la publication de son *Traité d'électricité,* il a retrouvé une formule équivalente de celle vérifiée par M. Mouton, dans les mémoires de M. Maxwell, avec une démonstration différente de celle qu'il a proposée.

M. Gariel indique devant la Société comment il utilise un phénakisticope de projection à 8 lentilles, pour réaliser diverses expériences devant un nombreux auditoire.

Sur les phénomènes d'induction; par M. L. Mouton.

Au moment de la fermeture et à celui de la rupture du courant inducteur, une bobine induite est le siége de mouvements électriques qui, depuis Faraday, ont été constatés et étudiés par l'un ou l'autre des procédés suivants : 1° les extrémités du fil induit sont reliées à un galvanomètre; ce fil constitue ainsi un circuit fermé dans lequel le galvanomètre indique le passage de courants de durée très-courte, dits *courants d'induction;* 2° ces extrémités sont fixées à une spirale magnétisante; les phénomènes sont alors accusés par l'aimantation des aiguilles d'acier placées dans la spirale; 3° ces mêmes extrémités sont mises en relation par le corps d'un animal dont les commotions sont le signe des mouvements électriques; 4° enfin les pôles de la bobine sont séparés par un espace d'air suffisamment faible, ou par une colonne de gaz raréfiés, tels que les fluides ébranlés puissent les franchir sous la forme complexe de l'étincelle ou de la lumière dite *des tubes de Geissler*.

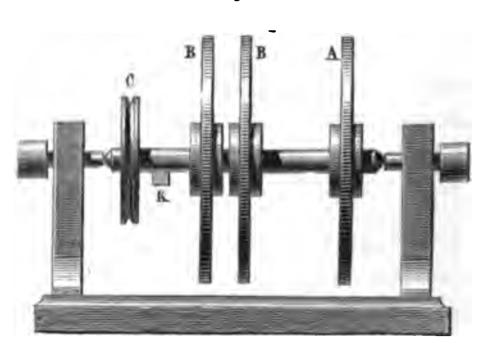
Je me suis proposé de résoudre la question suivante : Les extrémités de la bobine induite étant complétement isolées, de façon

qu'il ne puisse se produire ni courant en circuit, ni étincelles, de quels phénomènes le fil induit est-il le siége? En précisant davantage et me bornant au cas de la rupture du courant inducteur, pendant le passage de ce courant, les extrémités du fil induit ne présentent aucune différence de tension (¹); la même chose a lieu quelques instants après la rupture. Par quelles valeurs successives a passé cette différence de potentiel ainsi partie de zéro et revenue à zéro?

Je décrirai d'abord sommairement le dispositif expérimental employé, puis les résultats obtenus (²).

Disjoncteur. — Il se compose d'abord de trois roues en cuivre, de 1 décimètre de diamètre, A, B, B (*fig.* 1), montées sur le

Fig. 1.



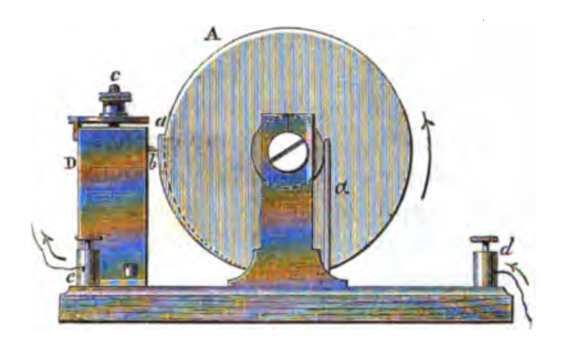
même arbre horizontal et soigneusement isolées de cet arbre par des pièces d'ébonite. La roue A produit la fermeture et la rupture du courant inducteur. A cet effet, elle présente un petit filet excentrique *a* (*fig.* 2), qui vient à chaque tour frotter contre une pièce en bronze *b* taillée en couteau. Cette pièce, constamment

(¹) Il est bien entendu que la tension dont il sera toujours question dans cet article est celle qui se constate par communication métallique lointaine, qui est indépendante du point touché du conducteur, la tension de Volta, comme l'appelle bien justement M. Mascart (*Traité d'électricité statique*, 1876, Préface), ou enfin le potentiel pour ceux que n'effraient pas trop les considérations mathématiques *a priori*.

(²) Cet article, ainsi que les figures qui s'y rapportent, est extrait d'une thèse que je viens d'avoir l'honneur de soutenir devant la Faculté des Sciences de Paris. Je prie le lecteur d'y recourir pour tout ce qui lui paraîtra ici trop succinctement exposé. (*Ann. de l'École Normale*, 2ᵉ série, t. VI; Paris, Gauthier-Villars.)

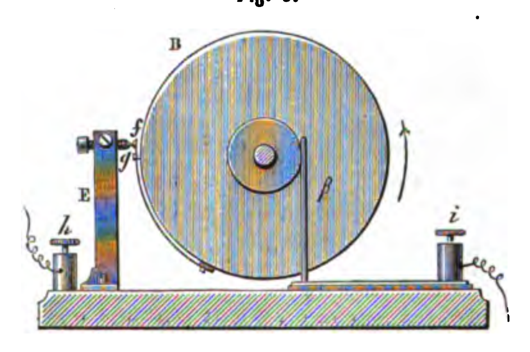
poussée par un ressort, est tenue à distance de la roue A par une vis buttante et ne communique avec elle qu'au passage du filet excentrique. La pièce *b* fait partie d'un système très-solide D, isolé du reste de l'appareil et dans lequel elle peut s'élever ou s'abaisser ver-

Fig. 2.



ticalement de quantités soigneusement mesurées par une vis micrométrique *c* graduée au $\frac{1}{10}$ de millimètre. Le courant inducteur entrant par la borne *d* passe dans la roue A par le ressort frotteur *α*

Fig. 3.



et, pendant le contact de la pièce *b* avec le filet *a*, gagne le système D et retourne à la pile par la borne *e*.

Les roues B, B sont identiques. Chacune d'elles présente un couteau *f* (*fig.* 3) parallèle à l'axe de rotation, porté à l'extrémité d'un long ressort couché parallèlement à la circonférence de la roue et qu'empêchent de vibrer des vis buttantes le condamnant à n'effectuer que des mouvements d'amplitude extrêmement faible.

A chaque révolution, le couteau touche une pointe fixe *g* portée sur une colonne isolée et mise en relation avec les quadrants d'un électromètre par un fil partant de la borne *h*. Les roues B, B communiquent en outre constamment, par deux frotteurs β isolés du reste de l'appareil, avec les bornes *i*, mises par un fil en relation métallique avec les extrémités du fil induit. Au moyen de la loupe, contrôlée par un procédé électrique particulier, je m'assurais que les contacts des couteaux *f* avec les pointes *g* avaient bien lieu au même instant. Si l'on se reporte à la description du système D, on voit alors que, en faisant monter ou descendre la pièce *b* au moyen de la vis micrométrique *c*, on peut faire que l'instant du double contact des couteaux *f* et des pointes *g* se rapproche ou s'éloigne de quantités bien déterminées de celui de la rupture métallique du courant inducteur.

Ces quantités, mesurées par la vis micrométrique, se traduisent aisément en temps si l'on connaît la vitesse de rotation de l'appareil. Pour mesurer cette vitesse, une came K (*fig.* 1) pressant sur un ressort fermait, à chaque tour de l'appareil, un courant spécial communiquant avec un système inscripteur dont il sera dit un mot tout à l'heure.

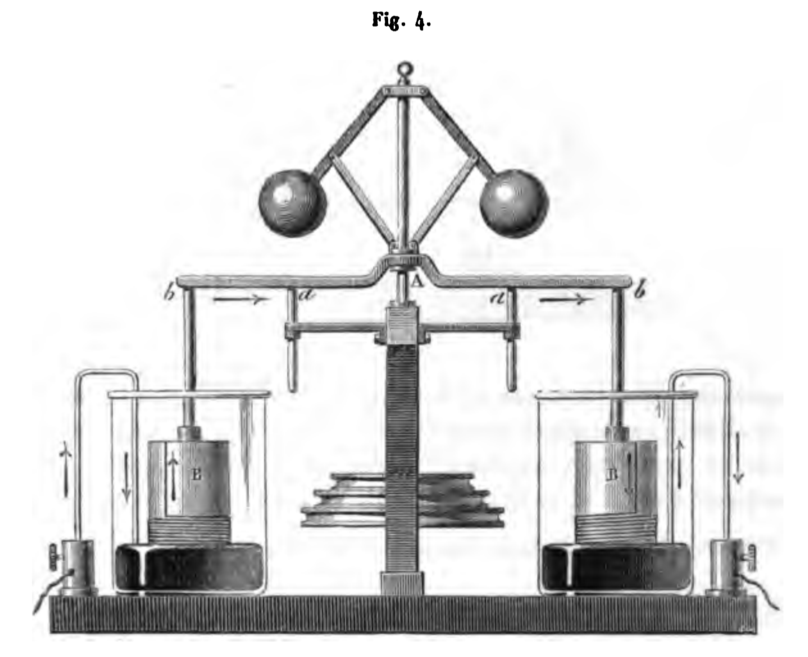
Enfin la poulie C (*fig.* 1) était reliée à l'arbre du moteur par une corde qui communiquait le mouvement à l'appareil.

Cet instrument a été construit par MM. Brünner frères.

Moteur et régulateur. — Je me suis servi pour moteur d'une petite machine Gramme dans le fil de laquelle était lancé le courant de deux ou trois éléments Bunsen. Des irrégularités dans le mouvement, dues probablement aux variations de la pile, m'ont conduit à y adjoindre le régulateur représenté (*fig.* 4) et applicable à tout moteur électromagnétique. C'est le système à force centrifuge de Watt, prenant son mouvement par une corde sur l'arbre même de la machine. Au sommet A du losange articulé, où se trouve fixé dans le régulateur des machines à feu l'anneau portant le bras du levier qui doit augmenter ou diminuer l'entrée de la vapeur dans le cylindre, est fixée une tige horizontale faisant corps avec cet anneau et guidée par deux baguettes verticales *a*, *a*, l'empêchant de faire autre chose que s'élever ou s'abaisser parallèlement à elle-même, selon que les boules s'élèvent ou s'abaissent. Aux deux extrémités *b*, *b* de cette tige horizontale sont fixés deux

cylindres B, B en caoutchouc durci, sur chacun desquels est enroulé en hélice un fil de fer de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre environ. Ces cylindres plongent dans des vases remplis de mercure ; le fil de fer enroulé se trouve ainsi communiquer par une extrémité avec le mercure par l'autre avec l'ensemble métallique de l'appareil. Le courant qui fait mouvoir le moteur, au lieu de se rendre direc-

Fig. 4.



tement dans celui-ci, est d'abord lancé dans le mercure des vases, de là il passe dans les spires émergées du fil de fer, puis dans la machine.

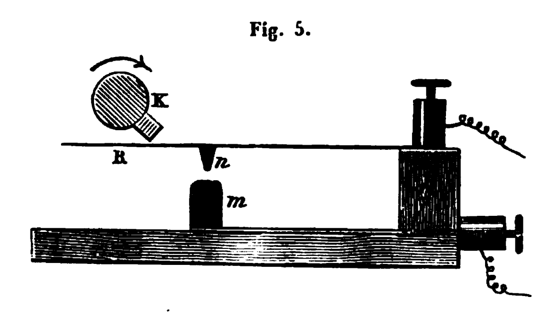
On comprend qu'un accroissement de vitesse, par exemple, de la machine se traduit immédiatement par la sortie d'une ou plusieurs spires du mercure, d'où une augmentation de résistance (la résistance d'une spire était égale au $\frac{1}{10}$ environ de la résistance totale du circuit) et par suite un affaiblissement du courant moteur.

Cet appareil a été construit par M. Ducretet.

Inscripteur du mouvement. — Il était important de savoir d'abord jusqu'où allait la régularité du mouvement. Pour cela, j'adaptai au

disjoncteur le petit appareil représenté (*fig.* 5). La came K, dont on a vu la place dans le disjoncteur, venait à chaque tour de celui-ci presser le ressort R et amener le contact entre la pointe *n* et l'enclume *m*. Le courant d'une pile spéciale, alors fermé, mettait en action un électro-aimant inscripteur ordinaire. Ce dernier traçait une courbe sur un cylindre tournant recouvert de papier noirci, concurremment avec celle des vibrations d'un diapason de M. Kœnig donnant l'ut_1, c'est-à-dire faisant soixante-quatre vibra-

Fig. 5.



tions complètes par seconde. Je me suis borné à compter le nombre des vibrations du diapason correspondant à vingt tours du disjoncteur, et, pour citer les chiffres d'une série, je l'ai trouvé compris *toujours* entre 100 et 101; je puis donc affirmer que le nombre *n* de tours par seconde était compris ce jour-là entre $\frac{20 \times 64}{100} = 12,8$ et $\frac{20 \times 64}{101} = 12,7$, et que par conséquent la vitesse ne variait pas, dans un intervalle de plus de quatre minutes, du centième de sa valeur moyenne.

Une fois assuré de la régularité du mouvement, je substituai au cylindre tournant un simple récepteur Morse, dont j'avais comparé la marche à un chronomètre de Winnerl. Il était facile de déduire du nombre de points compris dans une bande de longueur donnée la valeur absolue de la vitesse à chaque expérience.

Électromètre et sa graduation. — L'instrument de mesure était un électromètre à quadrants de M. Thomson, fabriqué chez MM. Elliott, de Londres; il présente le système de réflecteur communément employé dans les galvanomètres de M. Thomson : un petit miroir concave de 80 centimètres de rayon fixé à l'aiguille. En regard

et à 80 centimètres, se trouve une planchette portant une échelle horizontale, et au-dessous de cette échelle une fente que les Anglais éclairent par une lampe à pétrole. L'image de la fente et même d'un fil qu'on peut tendre en son milieu se produit très-nette sur l'échelle. L'approximation est incontestablement moindre que celle que donnent les lunettes; mais ce procédé présente en revanche l'avantage de n'exiger qu'un coup d'œil que l'on peut jeter rapidement sur l'échelle, tout en opérant. A ce point de vue surtout, je me permets de le recommander aux chercheurs.

L'aiguille demeurait chargée par la communication du condensateur avec un des pôles d'une pile ouverte qui n'a jamais dépassé cinquante éléments zinc-platine-eau.

Cette méthode de charge est très-commode ; mais elle demande à être entourée de quelques précautions.

D'abord il faut se prémunir contre la variabilité possible de cette pile; je l'ai fait en m'en référant tous les jours à une batterie de vingt éléments Daniell, soigneusement montés avec des dissolutions toujours identiques de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre ; je considère ainsi comme négligeables, d'après M. Thomson, les variations de cet élément type que je prends comme unité de force électromotrice ou de différence de potentiel ([1]).

Une cause d'erreurs bien plus considérables peut résulter de la faiblesse de cette charge, à laquelle peuvent devenir aisément comparables les différences de potentiel que l'on veut mesurer.

Dans ce cas une même différence de potentiel des secteurs peut être accusée par des déviations absolument différentes, selon la valeur absolue de ces potentiels. Une formule donnée dans le *Journal de Physique* par M. Mascart ([2]) m'a permis d'étudier complétement l'instrument sous ce point de vue, et de tirer même avantage de ce qui paraissait tout d'abord une infériorité.

Si V est le potentiel fixe de l'aiguille, V_1 et V_2 ceux des secteurs, le moment du couple qui tend à dévier l'aiguille, supposée retenue au zéro, a une valeur de la forme

$$M = lV(V_1 - V_2) + h(V_2^2 - V_1^2),$$

([1]) *Voir* THOMSON, *Reprint of papers on electrostatics and magnetism*; London, 1872, p. 246.

([2]) *Journal de Physique*, t. IV, p. 324 et suiv. (Extrait d'un *Traité d'électricité statique* aujourd'hui paru.)

où l et h sont deux constantes dépendant de l'instrument. J'ai d'abord vérifié la conséquence suivante de cette formule : si les points reliés aux secteurs sont les pôles d'une pile ouverte de force électromotrice totale A, si l'on appelle M_2 le moment du couple de déviation quand le pôle positif communique au sol, M_3 ce moment quand c'est le pôle négatif, et M_1 quand on met au sol le milieu de la pile, on a

$$M_2 = lVA + hA^2,$$
$$M_3 l = VA - hA^2,$$

et

$$M_1 = lVA = \frac{M_2 + M_3}{2},$$

c'est-à-dire que le moment dans le dernier cas est la moyenne arithmétique des deux autres.

Les mêmes piles ouvertes m'ont permis de vérifier la seconde conséquence que voici :

Soit M_1 le moment correspondant au potentiel V de l'aiguille et V_1, V_2 des secteurs, on a

$$M_1 = lV(V_1 - V_2) + h(V_2^2 - V_1^2).$$

Changeons V en — V, en intervertissant les pôles de la pile de charge : le nouveau moment M_2 sera

$$M_2 = -lV(V_1 - V_2) + h(V_2^2 - V_1^2),$$

qui pourra être de signe contraire ou de même signe que M_1. Retranchons M_2 de M_1, ce qui reviendra, au cas le plus fréquent où les déviations sont de sens contraire, à ajouter leurs valeurs absolues ; on a

$$\frac{M_1 - M_2}{2} = lV(V_1 - V_2),$$

c'est-à-dire la déviation qu'aurait fournie la même différence de potentiel avec deux potentiels égaux et de signe contraire.

Voici un tableau obtenu avec une pile de charge de cinquante éléments zinc-cuivre-eau, et une pile d'essai de trente éléments zinc-platine-eau.

CHARGE de l'aiguille.	DÉVIATION droite.	DÉVIATION gauche.	SOMME.	MOYENNE.
		Milieu au sol.		
—	180	195	375	366,5
+	170	188	358	
		Pôle — au sol.		
—	220	220	440	363,5
+	150	137	287	
		Pôle + au sol.		
+	215	225	440	365
—	150	160	290	
		10e *élément du côté négatif au sol.*		
+	170	175	345	362,5
—	185	195	380	

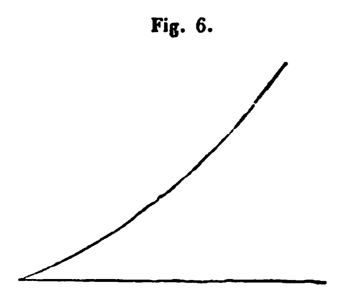
On voit que les nombres de la colonne des moyennes ne diffèrent pas les uns des autres de plus de $\frac{1}{90}$ de leur valeur.

Ce fait établi, j'ai dressé une courbe de graduation de l'instrument en reliant aux secteurs des séries successives de 10, 20, 30,... éléments de pile, à milieu fixé au sol, calquant absolument le procédé de graduation du galvanomètre par la lentille à secteurs de MM. de la Provostaye et Desains ; la *fig.* 6 est une réduction au $\frac{1}{20}$ de la courbe ainsi tracée. J'ai placé entre la pile de charge et l'aiguille un commutateur à bascule permettant une rapide interversion des pôles, et j'ai pu avoir ainsi, par une double mesure, à la fois des nombres toujours comparables entre eux, et être renseigné en même temps sur la valeur absolue des potentiels en jeu.

Soient A l'une de ces déviations, moyenne des deux observations, B l'ordonnée correspondante de la courbe de l'électromètre ; les vingt Daniell donnaient ce jour une déviation a à laquelle correspondait une ordonnée b ; la différence du potentiel est $\frac{20}{b}$ B, l'élément Daniell étant l'unité.

Appareil d'induction. — J'ai employé les deux bobines induites suivantes : la première de diamètre extérieur $7^c.5$ environ, lon-

Fig. 6.



gueur 15 centimètres ; le fil y fait 13 860 tours avec un diamètre de $\frac{1}{4}$ de millimètre, et une longueur approximative de 2500 mètres. Sa résistance mesurée directement est 942 Ohms ; elle provient d'un *schlitten-apparat* de du Bois-Reymond, fabriqué à Heidelberg. La seconde bobine m'a été gracieusement offerte par M. Ruhmkorff ; elle a les mêmes dimensions, avec 7260 spires d'un fil de $\frac{2}{4}$ de millimètre de diamètre, environ 1200 mètres de long ; sa résistance est 164 Ohms. Elle est formée de deux bobines qui peuvent s'accoupler, soit par le bout intérieur du fil enroulé, soit par le bout extérieur.

J'ai construit quatre bobines inductrices qui pénétraient exactement à l'intérieur de l'une ou de l'autre des bobines induites dont elles avaient la longueur : elles sont recouvertes d'un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre ; l'une en a une seule épaisseur, les autres deux, trois et quatre ; elles ne présentent aucune pièce de fer à l'intérieur.

Courant inducteur. — Il était fourni par un élément Daniell moyen modèle, plus ou moins complétement rempli avec des dissolutions bien pures de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre ; la résistance en était mesurée par un procédé indiqué dans le *Journal de Physique* (1) ; un rhéocorde de Poggendorff servait à modifier l'intensité du courant, dont une fraction convenable était lancée à volonté dans un galvanomètre de Weber.

(1) *Journal de Physique*, t. V, p. 144.

Discussion de la méthode; résultats. — Au point de vue théorique, la méthode employée ne semble pas comporter une longue discussion ; voici sur quoi elle s'appuie : 1° après chaque rupture, l'état électrique du fil induit passe identiquement par les mêmes phases : les commutateurs, rhéotropes, disjoncteurs, etc., employés depuis Masson, n'auraient sans cela aucun sens ; 2° la différence de potentiel que présentent les deux extrémités du fil induit à un temps t déterminé après la rupture du courant inducteur, elles la reprendront par conséquent à tous les temps correspondants. Si, à chacun de ces temps t, elles sont mises en relation métallique avec deux corps A et B et que la durée de cette relation soit assez courte pour que la différence de potentiel propre au temps t n'ait pas changé d'une façon sensible, au bout d'un certain nombre de contacts, qui dépendra de la capacité relative du fil induit et des corps A et B, ces derniers auront pris et conserveront la différence de potentiel des extrémités du fil correspondant au temps t considéré, et à partir de ce moment ces contacts ne troubleront plus le phénomène de l'induction que dans les mesures des pertes que pourront éprouver les conducteurs A et B. Ces pertes peuvent être considérées comme nulles avec des contacts se succédant à moins de $\frac{1}{10}$ de seconde d'intervalle, et quand il s'agit de potentiels ne dépassant pas un ou deux cents Daniell.

Si l'on se reporte aux analogies établies et si souvent invoquées par M. Thomson entre la propagation de la chaleur et celle de l'électricité, le potentiel électrique et la température, ou plus simplement à la considération de la charge à refus des anciens électriciens, ce qui précède paraît incontestable.

Au point de vue pratique, il ne me reste que peu de chose à ajouter à la description des appareils. Voici comment se faisait chaque série d'expériences : d'abord toutes les pointes et couteaux servant de contacts étaient soigneusement examinés à la loupe et retouchés quand ils atteignaient, par l'usure, une épaisseur de $\frac{1}{10}$ de millimètre au plus. Je m'assurais ensuite que les deux couteaux f (*fig.* 3) et les pointes g se touchaient bien au même instant; pour cela les extrémités d'une pile ouverte étaient d'abord mises directement en relation avec les quadrants de l'électromètre et l'on notait la déviation ; je les reliais alors aux bornes et j'amenais les couteaux au contact des pointes; l'un des couteaux était retouché jusqu'à ce

que la déviation fût la même. Le système d'induction étant ensuite mis en place, je plaçais le couteau *b* de façon que le double contact précédent eût lieu lorsque le courant inducteur était encore fermé : dans toutes mes expériences l'électromètre resta alors au zéro, ce qui indique que le temps pendant lequel se trouvait fermé le courant inducteur était plus que suffisant pour que tous les phénomènes d'induction correspondant à son établissement fussent éteints. Je faisais marcher enfin degré par degré la vis micrométrique *c* et je notais les données correspondantes de l'électromètre.

On se rappelle qu'un télégraphe Morse me donnait le nombre n de tours du disjoncteur par seconde. Il est aisé d'en conclure le temps correspondant au déplacement d'une division de la vis micrométrique. Le diamètre des roues étant de 1 décimètre, la circonférence est 314 millimètres ; à n tours par seconde, il défilait donc devant le couteau $314\,n$ millimètres par seconde ; d'où le temps correspondant à $\frac{1}{50}$ de millimètre était $\frac{1}{314 \times 50 \times n}$. Le nombre n a été en moyenne de 10, ce qui donne pour le temps considéré $\frac{1}{157000}$ de seconde. Avec la même vitesse, on voit que la durée des contacts des extrémités du fil avec l'électromètre était inférieure à $\frac{1}{314 \times 10 \times 10}$ ou $\frac{1}{31400}$ de seconde.

Résultats obtenus. — 1° Une différence de tension s'accuse entre les deux extrémités du fil induit au bout d'un temps que je crois pouvoir affirmer moindre que 4 millionièmes de seconde après la rupture métallique du courant inducteur. Le retard observé par M. Blaserna dans la production du courant d'induction, lorsque les deux bobines sont séparées, serait donc insensible quand la bobine induite recouvre immédiatement la bobine inductrice.

2° Cette différence de potentiel va en croissant : elle est de sens tel que, si les deux extrémités du fil induit étaient réunies par un conducteur, elle donnerait lieu au courant induit direct des théories ordinaires de l'induction ; il n'est pas douteux que ce serait elle qui produirait tout ou partie de l'étincelle dite *d'induction* au cas où les deux extrémités du fil induit ne seraient séparées que par une mince couche d'air ou une colonne d'un gaz raréfié.

3° Aucun phénomène d'étincelle ou de courant n'ayant pu se produire, la différence de potentiel, après avoir atteint un certain maximum, diminue, retombe à zéro, puis change de signe, atteint un nouveau maximum en sens inverse, pour revenir à zéro et se reproduire en sens inverse, etc. : en un mot, elle oscille de part et d'autre du zéro.

4° Les temps qui séparent deux zéros consécutifs sont rigoureusement égaux, à l'exception du premier, toujours plus long.

5° Ces temps diffèrent avec les bobines induites employées; mais, pour une bobine donnée, ils sont indépendants du nombre de spires qui composent la bobine inductrice et de l'intensité du courant inducteur, du moins dans les limites indiquées plus haut où j'ai opéré.

6° La durée de la première période, en prenant pour unité de temps le millième de seconde que je désigne par σ, a toujours été comprise, pour la bobine de 13860 tours, entre $0^{\sigma},108$ et $0^{\sigma},112$, soit environ $0^{\sigma},110$; elle a été pour la seconde bobine $0^{\sigma},035$.

7° La durée commune aux périodes isochrones qui suivent la première a été comprise pour la bobine la plus longue entre $0^{\sigma},076$ et $0^{\sigma},077$: elle a été pour l'autre de $0^{\sigma},023$ à $0^{\sigma},025$.

8° Si l'on met dans l'intérieur de la bobine inductrice des fils de fer doux, leur effet est d'allonger la première période seulement, les autres reprenant les valeurs précédentes. Ainsi, des morceaux de fil de fer de 1 millimètre de diamètre étant introduits dans la bobine, successivement au nombre de 10, 20, 40, les durées correspondantes de la première période (bobine longue), au lieu de $0^{\sigma},110$, ont été $0^{\sigma},144$, $0^{\sigma},153$, $0^{\sigma},171$, et, pour les périodes isochrones, $0^{\sigma},076$ comme plus haut.

9° La durée des oscillations isochrones paraît donc ne dépendre que de la bobine induite elle-même. Bien que n'ayant opéré que sur deux bobines, je me permettrai de faire remarquer la relation suivante : les durées des oscillations isochrones pour les deux bobines sont entre elles comme les quotients de la longueur des fils par leur diamètre. Ce quotient serait ainsi une espèce de résistance à un flux électrique parcourant les surfaces et dans laquelle le périmètre remplacerait la section. Si l'on se reporte, en effet, aux longueurs et diamètres des fils des deux bobines décrites plus haut,

on a $\frac{2500}{0,25} : \frac{1200}{0,4} = 3,4$; le rapport des temps est $\frac{0,077}{0,023} = 3,3$. Comme vérification, on doit encore trouver le même nombre pour le rapport des produits des résistances ordinaires de Ohm par les diamètres, et en effet on a $\frac{942 \times 0,25}{164 \times 0,4} = 3,5$.

10° Lorsque la bobine induite est formée d'une seule partie, de sorte que l'une des extrémités du fil se trouve à l'intérieur de la masse enroulée et l'autre à l'extérieur, la première reste pendant toute la durée du phénomène à un potentiel *à peu près* nul; la différence mesurée représente ainsi tout entière le potentiel du pôle extérieur. Si la bobine est formée de deux bobines semblables, reliées soit par leurs extrémités intérieures, soit par leurs extrémités extérieures, les deux pôles libres ont à chaque instant des potentiels égaux et des signes contraires.

Ce fait entraîne la conséquence suivante : si l'on veut essayer de tirer des étincelles des pôles isolés d'une bobine Ruhmkorff en en approchant un conducteur en relation avec le sol, un seul pôle en fournira dans les bobines petit modèle non cloisonnées, où l'enroulement est unique; tandis que les deux pôles en donneront indistinctement dans les bobines grand modèle, où le cloisonnement produit une symétrie entre les deux parties du fil induit.

11° L'appareil d'induction restant le même, si l'on change l'intensité du courant inducteur, les valeurs du premier maximum, le seul dont je me sois occupé dans ce cas, croissent plus vite que proportionnellement aux intensités du courant inducteur; mais, si l'on considère les valeurs des intégrales $\int_0^\theta E dt$, où E désigne la différence de potentiel fonction du temps et θ le temps compris entre le début et le premier zéro, ou, ce qui revient au même, les aires de la première boucle de la courbe générale: ces valeurs sont exactement proportionnelles aux intensités du courant inducteur.

Exemple : courants, 1, 2, 3; premiers maximum, 18, 40, 63; aires 140, 281, 428.

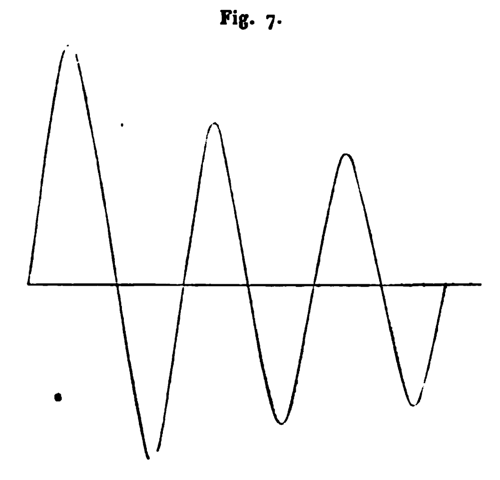
12° L'intensité du courant inducteur restant la même, les valeurs du premier maximum croissent plus vite que proportionnellement aux nombres de couches de spires composant la bobine inductrice;

mais les aires $\int_0^\theta$ Edt leur sont encore proportionnelles. *Exemple :* nombre de couches, 1, 2, 3, 4; premiers maximum : 28, 61, 104, 150; aires : 90, 182, 300, 393. (Il y a ici une erreur par excès, que j'ai toujours trouvée dans ce sens.)

13° L'introduction de dix morceaux de fil de fer doux dans la bobine inductrice a fait monter le premier maximum de 18 à 50, et l'intégrale $\int_0^\theta$ Edt de 140 à 457.

14° La (*fig.* 7) représente les six premières boucles de la courbe

Fig. 7.



complète représentant les différences de potentiel par lesquelles passent, après la rupture du courant inducteur, les extrémités du fil induit, dans les conditions que je vais spécifier. De l'inspection de cette figure, il résulte que les maximum diminuent assez lentement pendant la période oscillatoire ([1]).

Il est probable que le nombre des oscillations est théoriquement infini, ce qui revient à dire qu'on en observera d'autant plus qu'on les produira plus intenses et qu'on emploiera des instruments de mesure plus sensibles. Aussi je ne me suis pas attaché à ce point, et les six boucles qui sont ici représentées sont tout ce que me

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* 3 janvier, 12 juin et 10 juillet 1876.

permettait d'obtenir mon disjoncteur, dans la construction duquel je n'ai pas hésité à sacrifier la poursuite du phénomène aux avantages de rigueur et de sûreté qu'offre toujours une vis micrométrique de peu d'étendue. Dans mes premières expériences ([1]), faites avec un instrument moins précis, j'ai compté plus de trente oscillations, et le vingtième maximum était encore accusé par une déviation de 160 à l'échelle de l'électromètre.

Je donne, en même temps que la courbe qui précède, la série d'expériences dont elle est la traduction. Cette série a été obtenue le 3 mai 1876; la bobine induite était celle de 13 860 tours; la bobine inductrice avait deux épaisseurs de spire, sans fer à l'intérieur. La pile inductrice était un élément Daniell, demi-grandeur, rempli au $\frac{2}{3}$ environ de dissolutions bien pures de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre; sa résistance était 4,5 unités Siemens; le courant traversait en plus une résistance de 1,5 unité Siemens. La vitesse de rotation du disjoncteur était telle, que l'unité de la colonne **1**, qui est le temps correspondant à l'une des vingt-cinq divisions du limbe de la vis micrométrique, était $0^{s},000045$; l'unité de la colonne **2** est la force électromotrice d'un Daniell, c'est-à-dire la différence de potentiel que présentent les deux pôles d'un élément Daniell ouvert :

1.	2.	1.	2.	1.	2.
$1^{t}.06^{\text{div.}}$	0	$2^{t}.21^{\text{div.}}$	$4{,}0^{\text{gauche.}}$	$4^{t}.05^{\text{div.}}$	0,0
07	$7{,}0^{\text{droite.}}$	23	$12{,}0^{\text{droite.}}$	07	$12{,}0^{\text{droite.}}$
12	34,4	3.02	34,4	10	25,0
18	61,7	04	41,4	14	34,4
24	36,8	08	32,3	18	25,0
2.03	9,0	12	7,0	22	5,0
05	0	14	$5{,}0^{\text{gauche.}}$	24	$4{,}0^{\text{gauche.}}$
07	$18{,}0^{\text{gauche.}}$	17	23,0	5.02	19,4
09	32,0	20	36,8	07	31,6
14	46,0	22	36,8	13	12,0
17	36,0	4.01	23,6	16	$9{,}0^{\text{droite.}}$

([1]) Voir *Comptes rendus* du 3 janvier 1876.

Dans le dessin de la (*fig.* 7) $\frac{1}{2}$ millimètre représente en abscisse un temps égal à $0^s,0000045$ et en ordonnée la différence de potentiel, force électromotrice d'un Daniell. L'origine des coordonnées ou des temps est l'instant de la rupture métallique du courant inducteur, à partir duquel la courbe s'élève sans être tangente ni à l'un ni à l'autre des axes de coordonnées.

Ce travail a été fait au laboratoire de Physique de l'École Normale supérieure.

La persistance des impressions sur la rétine, expériences diverses exécutées à l'aide du phénakisticope de projection; par M. C.-M. Gariel.

La rétine possède une propriété particulière qui donne l'explication d'un grand nombre de phénomènes et qui a été mise à profit dans beaucoup d'expériences de Physique; nous voulons parler de la *persistance des impressions* par suite de laquelle toute sensation lumineuse est prolongée pendant un certain temps après l'instant où a cessé la cause qui lui avait donné naissance. Sans vouloir entrer dans les détails que comporterait une étude complète de cette propriété, nous signalerons ce fait, qu'elle est la cause de la *continuité* des sensations produites par des actions *intermittentes* en réalité. C'est ainsi que, d'une part, si devant une source lumineuse on fait tourner avec une certaine vitesse un disque présentant un certain nombre d'ouvertures, l'œil aura l'impression d'une lumière continue, pourvu que la durée du passage des parties pleines devant la source de lumière soit moindre que celle pendant laquelle la rétine conserve l'impression persistante; c'est même sur cette remarque qu'est basée l'une des méthodes à l'aide desquelles on a mesuré la durée de la persistance, qui a été évaluée à environ $\frac{1}{8}$ de seconde par Plateau. De même, si l'on projette sur un écran une image réelle formée par des rayons sur le trajet desquels on a placé le disque tournant dont nous venons de parler, l'image paraîtra exister sans interruption, bien que, en réalité, elle ne se produise que par intermittences. Il y a eu, dans ces deux cas, production de la *continuité dans le temps*.

C'est à cette circonstance qu'il faut rapporter l'expérience de la recomposition des couleurs à l'aide du disque de Newton; on voit en effet que, en un certain point quelconque que l'on fixe, passent successivement des bandes diversement colorées; chaque bande d'une couleur déterminée repasse assez tôt au même point pour que l'impression qu'elle a produite ne soit pas effacée, et par suite l'effet est le même que s'il y avait persistance, continuité de la couleur considérée au point fixé; et, comme il en est de même pour chacune des couleurs, l'œil est affecté comme si toutes les couleurs existaient simultanément en ce point, d'où résulte l'effet observé, à savoir la production du blanc.

D'autre part, si un point lumineux se meut avec une suffisante rapidité, au lieu de le voir successivement aux différents points de la trajectoire qu'il suit en réalité, nous apercevons cette trajectoire sur une certaine étendue qui est celle qu'il parcourt pendant la durée de la persistance de l'impression; ainsi, si l'on fait mouvoir rapidement un charbon enflammé, on voit une ligne ou une bande lumineuse (suivant l'étendue de la partie en ignition), et, si le charbon décrit une circonférence, sa vitesse peut facilement être assez grande pour que cette ligne paraisse à la fois lumineuse dans toute sa longueur. Il y a eu ici production de la *continuité dans l'espace*. Nous signalerons, sans insister autrement, comme application de cette propriété le photomètre de Wheatstone.

Dans le premier cas que nous avons considéré, nous avons supposé implicitement que la source lumineuse et l'image avaient toujours même forme; s'il en était autrement, si les diverses images successives différaient les unes des autres, pourvu que les variations ne fussent pas trop considérables et qu'elles suivissent une certaine loi, nous serions affectés absolument de la même manière que si l'on avait devant soi une image ou un objet changeant de forme d'une manière continue et par degrés insensibles; il y a donc substitution à l'intermittence de la *continuité dans la forme*. Les expériences faites à l'aide du phénakisticope, soit par vision directe, soit par projection, sont des applications de cette propriété, qui dérive comme les précédentes de la persistance des impressions sur la rétine.

On conçoit facilement, sans qu'il soit nécessaire d'insister et parce qu'il n'y a pas jusqu'à présent d'application à signaler, qu'il pour-

rait de même y avoir lieu de constater la production de la *continuité dans l'intensité lumineuse.*

Il y a un appareil fort intéressant, employé d'une manière courante depuis quelques années dans les cabinets de Physique, et qui est une application des trois premiers principes que nous venons de passer rapidement en revue : c'est le miroir tournant employé par Kœnig pour l'observation des flammes manométriques dans les expériences d'acoustique. Bien qu'à chaque révolution (ou quatre fois par révolution pour les miroirs ordinaires à quatre pans) l'image de la flamme n'apparaisse qu'un instant en un point, en chaque point elle paraît continue ; on fusionne de même les diverses images faites successivement en des points voisins, de manière que l'on voit une bande lumineuse continue ; enfin, en chaque point, il paraît y avoir oscillation continue, parce qu'en chaque point se produisent successivement des images correspondant à des phases différentes de la vibration de la flamme.

En se basant sur cette analyse sommaire de trois appareils différents au premier abord, le disque de Newton, le phénakisticope et les miroirs tournants, on conçoit que, puisqu'ils sont basés sur le même principe, ils doivent pouvoir donner lieu aux mêmes effets s'ils sont convenablement modifiés dans leur emploi. C'est par ce raisonnement que nous avons été conduit à nous servir du phénakisticope dans quelques expériences ; nous allons décrire les principales que nous avons faites déjà en nous servant d'un phénakisticope ordinaire de projection, dont on enlève seulement le plateau qui porte les figures servant ordinairement à donner l'impression de figures mobiles. Les expériences réussissent mieux en faisant doubler le nombre des lentilles qui existent ordinairement, ce qui ne change absolument rien au fonctionnement de l'appareil et donne une intensité plus considérable aux images obtenues.

I. Les lentilles mobiles étant au repos, on projette sur un écran une image lumineuse quelconque, celle de l'ouverture pratiquée dans un écran, par exemple ; si l'on vient alors à faire tourner lentement le disque qui porte les lentilles, on verra d'abord l'image se déplacer, disparaître, puis apparaître de nouveau en se formant à travers la lentille suivante. Mais, si l'on accélère la rotation, il y a un instant où les images successives se fusionnent, et l'on voit sur

l'écran une bande lumineuse de la hauteur de l'image, courbée en arc de cercle. Cette bande lumineuse est naturellement de la couleur de la lumière qui sert à la projection.

II. Si, dans les mêmes conditions, on projette deux images de couleur différente à la même hauteur, chacune d'elles donnerait lieu à une bande de la couleur correspondante si elle était seule; mais leur ensemble donne une bande de la couleur correspondant au mélange des deux couleurs données. En particulier, si l'on opère avec deux images colorées par la polarisation rotatoire et qui soient complémentaires, on a une bande blanche très-nette; si l'on s'arrange pour que les deux images, sans être à la même hauteur complétement, aient une partie au même niveau, les deux bandes colorées empiéteront partiellement et donneront pour cette partie commune une bande blanche, accompagnée en haut et en bas d'une bande colorée; on voit ainsi à la fois les couleurs composantes séparées par une bande ayant la couleur résultante.

III. Si l'on projette de la même façon un spectre à l'aide d'un prisme vertical, la rotation de l'appareil donnera une bande d'un blanc parfait. Cette expérience est intéressante en ce qu'elle montre successivement au même point le spectre et la lumière blanche provenant de la recomposition des lumières colorées qui le composent, ce qui constitue une disposition particulièrement favorable pour les cours.

IV. On place derrière l'appareil une flamme manométrique et l'on cherche l'image de cette flamme sur un écran; la flamme étant peu lumineuse, il convient d'opérer dans une salle aussi peu éclairée que possible. La rotation de l'appareil donne naissance sur l'écran à une bande lumineuse dont le bord inférieur, seul bien limité (l'image étant renversée), est uni; mais, si la flamme vient alors à vibrer par suite d'une quelconque des expériences où l'on emploie d'ordinaire le miroir tournant, le bord inférieur de la flamme présente des dents ayant une forme analogue à celles que l'on observe dans le miroir tournant. Cette expérience, qui permet de projeter facilement toutes les expériences comportant des flammes manométriques, a paru utile dans diverses circonstances; il est certain que,

dans une vaste salle, l'emploi du miroir est peu commode; d'une part, les auditeurs ne savent pas au juste quel point il faut regarder; puis les images sont d'une faible intensité et sont d'autant moins facilement distinctes que la flamme, plus intense, est voisine de l'image. Dans le cas de la projection, au contraire, l'écran est un point déterminé sur lequel l'attention est seulement appelée; la flamme n'étant pas vue directement, les images sont plus faciles à distinguer. Ajoutons, mais c'est là un point sur lequel nous nous proposons de revenir, que les images dentelées sont moins déformées que par l'emploi du miroir, et qu'elles permettront sans doute d'effectuer des mesures, si l'on a soin de communiquer au disque mobile un mouvement uniforme dont la vitesse soit connue.

SÉANCE DU 15 DÉCEMBRE 1876.

PRÉSIDENCE DE M. QUET.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Sont élus Membres de la Société: MM. Hugon, ingénieur civil; Macé, Professeur au Lycée de Grenoble; Pache, Ingénieur, à Mulhouse.

M. André, après avoir rappelé les travaux auxquels a donné lieu l'observation du passage de Vénus sur le disque du Soleil depuis le passage observé au siècle dernier, expose les expériences qu'il a entreprises sur l'apparence appelée *goutte noire*, *pont* ou *ligament noir*, signalée par diverses astronomes et dont Lalande avait essayé une explication.

A l'occasion de cette communication, M. Wolff fait remarquer que, dans l'observation du prochain passage de Vénus, on pourra se servir avec succès des petites lunettes, ce qui ne sera pas sans intérêt à cause des facilités de transport qu'elles présentent. Il faut remarquer que, si dans un travail antérieur fait en collaboration avec M. André, il a été conduit à des conséquences qui semblent en contradiction avec les résultats indiqués ci-dessus, cela tient à ce que les expériences furent faites avec des lunettes dont les objectifs

étaient trop larges pour que les phénomènes de diffraction eussent une grandeur appréciable.

Sur le phénomène dit de la goutte noire et son influence sur l'observation du passage de Vénus; par M. Ch. André.

« Au lieu de se présenter à l'observateur comme le contact géométrique de deux cercles d'inégal rayon, dit le P. Hell dans son remarquable Rapport sur le passage de 1769, la planète Vénus et le bord du Soleil m'ont paru pendant longtemps réunis par un ligament noir, une véritable goutte noire, qui a duré pendant plus d'une minute. L'instant que j'ai noté pour celui du contact est celui de la rupture de cette goutte et l'apparition de la lumière, au point de contact entre Vénus et le Soleil. »

Tel est le phénomène qui, depuis plus d'un siècle, préoccupe les astronomes du monde entier. La détermination de l'instant du contact de Vénus avec le bord du Soleil a été, en effet, donnée autrefois par Halley, comme la meilleure méthode qui permette d'obtenir la parallaxe du Soleil, et par suite la distance du Soleil à la Terre.

A quoi attribuer une pareille apparence? Quel est alors le phénomène que l'astronome doit prendre pour l'instant du contact? Et ce phénomène, s'il est dû à des causes étrangères, peut-il être évité?

L'illustre Lalande, dans son Mémoire sur les passages de Vénus observés au siècle dernier, attribua la formation de la goutte noire à une cause tenant à l'œil lui-même et produisant les faits connus sous le nom d'*irradiation*. En vertu de l'irradiation, la forte lumière émise par le Soleil produit sur la rétine l'effet de nous faire voir le disque solaire plus grand qu'il ne l'est en réalité, celui de Vénus plus petit qu'il ne l'est en effet, d'où le ligament noir qui paraît les réunir.

Les astronomes ont depuis porté leur attention sur l'observation du passage de Mercure; mais, tandis que certains d'entre eux ont vu le ligament noir, d'autres ont, au contraire, observé un phénomène purement géométrique.

Après le passage de Mercure du 4 novembre 1868 M. Wolf et moi, nous avons cherché à reproduire artificiellement le passage lui-même, et nous avons été conduits à admettre que ce ligament noir était dû uniquement soit aux défauts des objectifs, soit à ceux de la mise au point de l'oculaire.

Mais, pendant l'observation que j'ai faite à Nouméa, le 9 décembre 1874, les apparences que j'ai vues m'ont paru ne point s'accorder avec nos opinions antérieures; et, depuis, j'ai installé des expériences nouvelles dont voici le résumé.

Le principe de l'appareil que j'ai employé, et qui a été construit par MM. Brunner frères, est le suivant :

Une lame de verre dépoli qu'on éclaire, soit à l'aide de la flamme du gaz réfléchi par de la chaux, soit avec la lumière Drummond, soit encore au moyen d'une machine électromagnétique de l'*Alliance,* figure le Soleil. Une lame métallique noircie, ayant d'un côté la courbure même du bord du Soleil, forme le fond obscur du ciel; mais son bord courbe est double. Une lame plus petite, usée sur le même bassin d'optique, mobile autour d'un centre et équilibrée de façon qu'elle coïncide avec la première dans l'état ordinaire, tourne dans un plan parallèle au sien (mais en ne cessant pas d'être invisible pour l'observateur), dès que la plus petite force vient à la soulever.

En avant de cette lame noircie se meut, entraîné par un mouvement isochrone du système de M. Y. Villarceau, un disque métallique dont le diamètre apparent, vu dans la lunette, est précisément celui de Vénus au jour du passage, et qui, de plus, coupe le Soleil sous l'inclinaison convenable.

L'un des pôles d'une pile communique avec la planète Vénus, l'autre avec le bord mobile du Soleil; de sorte que, au moment où le contact géométrique a lieu, un courant se produit, qu'on enregistre sur un chronographe Breguet. Sur le même chronographe s'inscrivent parallèlement l'heure donnée par une pendule Winnerl, et le *top* donné par l'observateur sur un manipulateur Morse.

Les conclusions auxquelles m'a conduit l'étude des contacts internes sont les suivantes :

1° Ce que l'on a appelé la *goutte noire,* le *pont* ou *ligament noir,* est, non pas un fait accidentel, mais bien un fait *nécessaire, caractéristique* du phénomène lui-même. Il n'est dû ni aux dé-

fauts de l'objectif, ni à la mauvaise mise au point de l'oculaire.

Avec une source lumineuse suffisamment intense, un pont se produit *toujours* au moment du contact géométrique, quelque parfaite que soit la lunette employée ; mais les dimensions angulaires de ce pont sont inversement proportionnelles au diamètre de l'objectif; et, dès que ce diamètre atteint 5 ou 6 pouces, le pont devient pour ainsi dire insensible.

2° On peut d'ailleurs le faire disparaître complétement dans l'image rétinienne, et cela de deux manières, soit en augmentant suffisamment le pouvoir absorbant du verre noir qui sert à l'observation, soit en plaçant en avant de l'objectif un écran particulier, formé d'un grand nombre d'anneaux très-étroits, séparés les uns des autres par des anneaux obscurs de même largeur.

On peut aussi le faire disparaître en réduisant d'une manière convenable l'intensité de la source lumineuse qui figure le Soleil. En rapprochant ce moyen du premier, on obtient une démonstration saisissante de ce fait que, dans l'observation astronomique, l'œil et la lunette forment un *système optique unique et déterminé.*

Dans l'un et l'autre de ces trois cas, le passage se produit d'une *façon géométrique.*

3° Tous ces faits sont d'accord avec la théorie de la diffraction bien interprétée et ils peuvent se démontrer par un calcul rigoureux.

4° L'existence de ce pont ou ligament noir n'est d'ailleurs point un obstacle réel à la bonne observation du passage. Dans ce phénomène, alors compliqué, il existe une *phase simultanée* pour toutes les lunettes, quelles qu'en soient les ouvertures, qui correspond au contact géométrique, et qu'après une éducation convenable on parvient à observer avec une erreur au plus égale à $0^s,75$ pour le contact interne d'entrée et à $1^s,50$ pour le contact interne de sortie.

5° L'erreur totale commise sur la durée du passage peut donc être réduite à $2^s,5$. Or, pour avoir la *parallaxe solaire à un centième de seconde d'arc*, il suffit de ne pas commettre sur cette durée une *erreur supérieure à cinq secondes de temps;* l'observation du passage de Vénus peut donc fournir cette parallaxe à *cinq millièmes de seconde d'arc* près.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ.

PENDANT L'ANNÉE 1876.

Annales télégraphiques (année 1876).

Bulletin mensuel de l'Observatoire de Montsouris, publié par M. *Marié-Davy* (année 1876).

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils (année 1876).

Mémoires et Comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils (1876).

Note sur un appareil de M. Melsens dit Rhé-Électromètre; par M. *Hervé Mangon*.

Vitesse du flux thermique dans une barre de fer; par M. *Decharme* (Angers, 1876).

Qualités sonores comparatives des métaux, du bois, des pierres; par M. *Decharme* (Angers, 1876).

Bulletin de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

Propagation de la chaleur dans les corps cristallisés; par M. *Jannettaz*.

Studi sperimentali sul Magnetismus temporario e sul permanente; par M. *Constanzo Glisenti*.

Delle Magneti permanenti e sei vari methodi per otternelle; par M. *Constanzo Grisenti*.

Manuel de télégraphie sous-marine; par M. *A.-L. Ternant*.

Recherches sur la Capillarité dynamique (3e Mémoire); par M. *Decharme* (Angers, 1876).

La Chaleur solaire et ses applications industrielles; par M. *A. Mouchot* (Paris, 1869).

Étude sur la température d'ébullition des spiritueux et sur le dosage de l'alcool au moyen de l'ébullioscope; par M. *J. Salleron* (Paris, 1876).

Journal of the Society of Telegraph Engineers (années 1872-1873-1874-1875).

Le moteur hydro-thermique; par M. *F. Tommasi*.

Recherches sur les chronomètres et les instruments nautiques (Imprimerie Nationale, 1876); par M. *Caspuri*.

Emploi des lames de collodion dans les expériences d'optique; par M. *Gripon*.

Expériences pratiques de la boussole circulaire; par M. *Duchemin*.

Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électrodynamique (Thèse); par M. *Mouton*.

Du rôle de la Terre dans les transmissions télégraphiques; par M. *Th. du Moncel* (Caen, 1876).

Sur la détonation des mélanges gazeux; par M. *M. Neyreneuf* (Caen, 1876).

Intorno di alcune opere idrauliche antiche rinvenute nella campagna di Roma; par le P. *Secchi*.

Sulla Pioggia osservata al Collegio Romano dal 1825 al 1874; par le P. *Secchi*.

Prodromo di un catalogo fisico delle Stelle colorate; par le P. *Secchi*.

Télégraphes, postes et transports (agendas Dunod, 1877).

Théorie élémentaire du potentiel; par M. *Abria*.

INSTRUMENTS REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1876.

Dix éléments Grenet; donnés par MM. *Ducretet et Cie*.
Lanterne de M. Duboscq; donnée par M. *de Romilly*.
Appareil à projection; donné par M. *Duboscq*.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

(1877.)

BUREAU.

MM. Becquerel (Edmond), *Président.*
Blavier, *Vice-Président.*
D'Almeida, *Secrétaire général.*
Cazin, *Secrétaire.*
Mouton, *Vice-Secrétaire.*
Niaudet, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. Blavier, 1875.
Bourget.
Cornu.
Duboscq.

Berthelot, 1876.
Bertin.
Fizeau.
Du Moncel.

D'Arlincourt, 1877.
Fernet.
Marey.
Marié-Davy.

Membres non-résidants :

MM. Meunier-Dollfus (Mulhouse), 1875.
Raulx (Auch).
Strumbo (Athènes).
Ternant (Marseille).

Andrews (Belfast), 1876.
Duclaux (Lyon).
Govi (Turin).
Gripon (Rennes).

Crova (Montpellier), 1877.
Secchi (Rome).
Spottiswoode (Londres).
Terquem (Lille).

MEMBRES HONORAIRES.

MM. Becquerel, Membre de l'Institut.
Billet, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
V. Regnault, Membre de l'Institut.
Le P. A. Secchi, Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
Sir William Thomson, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow,

MEMBRES A VIE (1).

MM. Puyfontaine (Comte de), 45, boulevard des Batignolles.
D'Almeida, Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
Warren de la Rue, 7, Portland place, Londres, W.
Berthelot, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
Mascart, Professeur au Collége de France, 7, rue Malebranche.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesle.
Niaudet, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.
Salet, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boul. Saint-Germain.
Spottiswoode (W.), Vice-Président de la Société royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.
Jamin, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
Gernez, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue de Médicis.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRIA, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
ALBAN FOURNIER (le Dr), à Rambervillers (Vosges).
ALLUARD, Professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.
ALMEIDA (d'), Professeur au Lycée Henri IV, 31, rue Bonaparte.
ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.
ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
ANDREWS, Queen's College, Belfast (Irlande).
ANGOT, Professeur au Lycée de Versailles, 9, rue Berthollet.
ARCHAMBAULT (J.), Professeur au Lycée Charlemagne, 9, boulevard du Temple.
ARLINCOURT (d'), Ingénieur électricien, 102, rue Neuve-des-Mathurins.
ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.
AUBOUY, Professeur au Collége de Pézénas.
AUBRY, Professeur au Collége d'Avallon.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, rue de Fleurus.
BARON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 64, rue Madame.
BARTHÉLEMY, Professeur au Lycée de Toulouse.
BEAUME, Professeur au Lycée de Bourg.
BÉCLARD, Professeur à la Faculté de Médecine, Charenton.
BECQUEREL, Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Ed.), Membre de l'Institut, au Muséum, rue Cuvier, 57.
BECQUEREL (Henri), Élève des Ponts et Chaussées, 10, rue Gay-Lussac.

---

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs. Les sommes versées pour rachat des cotisation sont placées et leur revenu seul pourra être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. IV, dernier paragraphe.)

MM.

BELLOC, Ingénieur, fabricant de ciment, à l'Isle-sur-le-Sereii. (ıonne).
BENEVIDES (Francisco da Fonseca), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).
BERGON, Inspecteur divisionnaire des lignes télégraphiques, 54, rue Madame.
BERTHELOT, Membre de l'Institut, 57, boulevard Saint-Michel.
BERTHOLOMEY, Professeur au Collége de Tulle.
BERTIN, Sous-Directeur de l'École Normale, rue d'Ulm, 45.
BERTRAND, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 9, rue des Saints-Pères.
BÉTHUNE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.
BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 77, boulevard Saint-Michel.
BICHAT, Professeur au Lycée de Versailles, 65, rue de Montreuil.
BILLET, Doyen de la Faculté des Sciences de Dijon.
BLAVIER, Inspecteur divisionnaire des Télégraphes, 62, rue Nicolo.
BLONDLOT, attaché au Laboratoire des Hautes Études, 15, rue Guy-de-la-Brosse.
BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.
BONTEMPS, Directeur des transmissions, à l'administration générale des lignes télégraphiques.
BOUCHER, Préfet des Études au Collége Chaptal.
BOUDRÉAUX, Préparateur à la Faculté des Sciences, 8, rue des Écoles.
BOULANT, Professeur au Lycée d'Alençon.
BOURBOUZE, Préparateur à la Faculté des Sciences, 85, rue Mouffetard.
BOURDON, Ingénieur-Mécanicien, 74, rue du Faubourg-du-Temple.
BOURGET, Directeur des Études à Sainte-Barbe, rue de Reims.
BOURSAC, ancien Proviseur, à Angoulême.
BOUTAN, Inspecteur général de l'Université, 4, rue de l'Odéon.
BOUTET DE MONVEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 54, rue de Rivoli.
BOUTY, Professeur au Lycée Saint-Louis, 133, boulevard Saint-Michel.
BRANLY, Professeur à l'Université Catholique, 49, rue Gay-Lussac.
BRÉGUET, Membre de l'Institut, 39, quai de l'Horloge.
BRÉGUET (Ant.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 39, quai de l'Horloge.
BRION, Professeur au Lycée Saint-Louis, 21, rue de Turin.
BRIOT, Professeur à la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.
BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 22, rue d'Enfer.
BRUNHES, Professeur au Lycée de Toulouse, 56, quai de Tounis.
BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

CABANELLAS (G.), Lieutenant de Vaisseau, 5, rue Mogador.
CABART, Examinateur à l'École Polytechnique, 143, boulevard Saint-Michel.
CAILLETET, Manufacturier, Châtillon-sur-Seine.
CAQUÉ, Professeur au Lycée Saint-Louis, 83, rue Notre-Dame-des-Champs.
CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
CAVALLIÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.
CAZIN, Professeur au Lycée Fontanes, 14, rue de Beaune.
CHARLIER, Professeur au Collége de Dunkerque.

MM.

CHARLON, Directeur de la *Confiance*, 2, rue Favart.
CHAUTARD, Professeur à l'Institut catholique de Lille.
CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.
COLMET D'HUART, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
CORNU, Professeur à l'École Polytechnique, 38, rue des Écoles.
COULIER, Professeur au Val-de-Grâce, 26, rue Gay-Lussac.
COUPIER, Fabricant de produits chimiques, à Creil.
COUSTÉ, Directeur de la Manufacture des Tabacs, 63, quai d'Orsay.
CROIX, Professeur au Collége, 18, Grande-Rue, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).
CROVA, Professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DAGUENET, Professeur au Lycée de Laval, 34, rue de Nantes.
DALMAN, Ingénieur, 9, Rembla del Centro, à Barcelone (Espagne).
DANIEL, Professeur à l'École Centrale, 67, rue du Cardinal-Lemoine.
DEBRAY, Membre de l'Institut, 76, rue d'Assas.
DECHARME, Professeur au Lycée d'Angers.
DECLERC, Professeur au Collége de Langres (Haute-Marne).
DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.
DELESTRÉE, Professeur au Lycée de Mont-de-Marsan.
DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.
DELEVEAU, Professeur au Lycée d'Orléans, 325, rue de Bourgogne.
DELHAYE, Professeur au Lycée de Saint-Omer.
DENAYROUSE (**L.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 3, boulevard Voltaire.
DESCHIENS, Constructeur d'instruments de Physique, 123, boul. Saint-Michel.
DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.
DESPLATS, Agrégé de l'École de Médecine, 232, rue de Rivoli.
DESPRATS, Professeur au Collége de Lodève.
DOULIOT, Principal du Collége de Langres.
DUBOSCQ, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
DUCHEMIN, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.
DUCLAUX, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.
DUCLOS, Inspecteur de l'enseignement primaire, à Saint-Girons (Ariége).
DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue des Ursulines.
DUPAIGNE, Professeur au Collége Stanislas, 172, boulevard Montparnasse.
DUPRÉ, Professeur au Lycée Charlemagne, 44, boulevard Beaumarchais.
DUTER, attaché au Laboratoire des hautes études à la Sorbonne.

EGOROFF (**Nicolas**), au Cab[t] de Phys[e] de l'Université, St-Pétersbourg (Russie).
ÉLIE, Professeur au Collége d'Abbeville, 41, rue des Teinturiers.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Henri IV, 13, rue Boissière.
FAVÉ, élève Ingénieur hydrographe, 108, rue du Bac.
FAYE, Membre de l'Institut, 9, chaussée de la Muette, Passy-Paris.
FERNET, Répétiteur à l'École Polytechnique, 93, rue des Feuillantines.

MM.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

FLETWOOD LAWTON (**George**), Électricien de l'Eastern Telegraph, 8, rue du Pavé-d'Amour, à Marseille.

FONTAINE (**Hippolyte**), 52, rue Saint-Georges.

FONTBONNE (l'abbé), aumônier de l'hôpital militaire de Bône (Algérie).

FOURNIER (**Félix**), 115, rue de l'Université.

FRIDBLATT (**A.**), Contrôleur du Télégraphe, à Chaumont (Haute-Marne).

FRIEDEL, Conservateur à l'École des Mines, 60, boulevard Saint-Michel.

FRON, Astronome adjoint à l'Observatoire de Paris, 127, boulevard Saint-Michel.

GAIFFE, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GARBAN, Professeur au Lycée de Clermont-Ferrand.

GARBE, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.

GARÉ (**l'Abbé**), Professeur à l'École ecclésiastique des Hautes Études de Nancy.

GARIEL, Agrégé de l'École de Médecine, 41, rue des Martyrs.

GAUGAIN, 1, rue d'Assas.

GAUTHIER-VILLARS, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Professeur à l'École de Médecine, 73, rue de Grenelle-St-Germain.

GAY, Professeur au Lycée d'Amiens, 1, rue Basse-Notre-Dame.

GAYON, Chimiste en chef de la Douane des sucres, à Bordeaux.

GERNEZ, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 17, rue Médicis.

GIRARD (**Ch.**), Manufacturier à Ris-Orangis (Seine-et-Oise).

GIRARD (**M.**), Professeur au Collège Rollin, 9, rue Thenard.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue des Feuillantines.

GIROUD (**D.**), Constructeur de régulateurs à gaz, 27, rue des Petits-Hôtels.

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 24, rue des Fossés-Saint-Jacques.

GOSSART (**Ferdinand**), à Mareuil-sur-Ay (Marne).

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Toulon.

GOVI, Professeur à l'Université de Turin, 2, rue de Grammont.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'usine de l'Indian-Rubber gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kay**), Ingénieur électricien à l'usine de l'Indian-Rubber, gutta-percha et telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes, 4, rue Bourbon.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée de Nîmes, 24, rue Dorée.

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, quai de la Sinne, Mulhouse.

GUELPA, Principal du Collége de Sétif.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

HANRIOT, Professeur de Physique honoraire à la Faculté de Lille, à Mainbottel, par Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

HARMAND, Sous-Chef des ateliers au chemin de fer de l'Est, à Épernay.

HUET, Inspecteur des lignes télégraphiques à Constantine (Algérie).

MM.

HUGON, Ingénieur, 165, rue de Vaugirard.
HUREAU DE VILLENEUVE (le Dr), 95, rue Lafayette.
HURION, Préparateur de Physique au Collége de France, 11, rue des Écoles.

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

JABLOSCHKOFF, Ingénieur, 22, rue du Sommerard.
JAMIN, Membre de l'Institut, 24, rue Soufflot.
JANDEAU, Professeur au Collége de Tourcoing.
JANNIN, Professeur au Lycée d'Albi, 9, rue Mariès.
JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur du Laboratoire d'astronomie physique, à Meudon.
JENNESSON, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
JÉNOT, Professeur au Lycée, à Nancy.
JOLY, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).
JOSSE, ancien Élève de l'École Polytechnique, 37, rue Letort.
JOUBERT, Professeur au Collége Rollin, 50, rue Gay-Lussac.
JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 11, quai d'Anjou.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 30, rue Hautefeuille.
KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

LACOINE (Émile), Ingénieur civil, à Constantinople (Turquie).
LAFOREST (de), Lieutenant-Colonel du 33e de ligne, à Arras.
LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).
LALLEMAND, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.
LAMY, Professeur à l'École Centrale, 77, boulevard Saint-Michel.
LAPLAICHE, Professeur au Lycée de Dijon, 3, rue de Lamonnoye.
LAPORTE, Lieutenant au 5e bataillon de chasseurs à pied, au camp d'Avor (Cher).
LAROCHE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 118, avenue des Champs-Élysées.
LATTES (Oreste), Ingénieur à Turin, 51, rue Vivienne.
LAURENT, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.
LAVIÉVILLE, Censeur du Lycée de Douai.
LE BLANC (Félix), Professeur à l'École Centrale, 9, rue de la Vieille-Estrapade.
LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur à l'Institution Richelieu de Luçon (Vendée).
LECARME, Professeur au Collége Chaptal, 87, rue Saint-Pétersbourg.
LECHAT, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 7, rue de Tournon.
LECOAT, Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
LECOQ DE BOISBAUDRAN (François), à Cognac.
LEMOINE (E.), ancien élève de l'École Polytechnique, 55, rue du Cherche-Midi.
LEMOINE (G.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.
LE ROUX, Répétiteur à l'École Polytechnique, 38, quai Henri IV.
LESCHI, Professeur au Collége de Corte (Corse).
LEVY, Chef d'Institution, 10, rue Amyot.
LIPPMANN, Attaché au Laboratoire des Hautes Études, 59, rue des Feuillantines.

MM.

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Rochefort.
LISSAJOUS, Recteur de l'Académie de Besançon.

MACÉ, Professeur au Lycée, à Grenoble.
MALLEZET, Architecte, 87, rue de Monceau.
MANGIN, Commandant du Génie, boulevard des Invalides.
MARÉCHAL, Professeur au Lycée de Marseille.
MAREY, Professeur au Collége de France, 13, rue Duguay-Trouin.
MARIÉ-DAVY, Directeur de l'Observatoire météorologique de Montsouris.
MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.
MASCART, Professeur au Collége de France, 7, rue Malebranche.
MASSE, Professeur au Collége d'Épernay.
MASSON (**G.**), 10, rue Hautefeuille.
MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 6, rue Vavin.
MELSENS, Membre de l'Académie des Sciences de Belgique, 29, rue de la Grosse-Tour, à Bruxelles.
MERCADIER, Ingénieur des télégraphes, 27, rue Caumartin.
MEUNIER-DOLLFUS, Administrateur délégué de la fabrique de produits chimiques, à Thann (Haut-Rhin).
MEURIEN, Pharmacien, à Lille.
MEYER, Ingénieur des télégraphes, 1, boulevard Saint-Denis.
MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier.
MONCEL (**Comte du**), Membre de l'Institut, 7, rue de Hambourg et à Lebisey (près Caen).
MONNOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Nancy.
MOREAU, Chef des Travaux physiologiques au Muséum, 55, rue de Vaugirard.
MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 4 *bis*, rue Saint-Martin.
MOUCHOT, Professeur au Lycée, à Tours.
MOUTIER, Professeur à Sainte-Barbe, 13, rue Gay-Lussac.
MOUTON, Directeur-adjoint du Laboratoire des Hautes Études, 61, rue des Feuillantines.
MUIRHEAD (**Dr Alexandre**, F. C. S.), 159, Cambden Road, Londres.
MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regent-Street, Westminster, Londres.

NEYRENEUF, Professeur au Lycée de Caen.
NIAUDET, Constructeur d'instruments de précision, 6, rue de Seine.

OGIER, 11, boulevard du Temple.

PACHE (**Alf.**), Ingénieur, 20, rue des Orphelins, à Mulhouse.
PASSOT (**Dr**), Aide-Major au 103e de ligne, 60, rue Truffaut.
PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph, à Bône (Algérie).
PAYN (**John**), Sous-Directeur de l'Eastern Telegraph, à Marseille.

MM.

PELLAT (**H.**), Professeur au Lycée Fontanes, 21, rue Monge.
PERNET, Professeur au Lycée de Troyes.
PÉROT, Dessinateur et Graveur, 10, rue de Nesles.
PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 4 *bis*, Avenue du Bois de Boulogne.
PLANTÉ (**Gaston**), 56, rue des Tournelles.
PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.
PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 13, rue de l'Université.
POIRÉ, Professeur au Lycée Fontanes, 60, boulevard Malesherbes.
POTIER, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue de Boulogne.
PRÉSIDENT (**le**) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.
PROTCHE (**le Colonel**), Commandant en second de l'École Polytechnique.
PUJALET, Préparateur au Collége Rollin, 74, rue des Feuillantines.
PUYFONTAINE (**Comte de**), 43, boulevard des Batignolles.

QUET, Inspecteur général de l'Université, 37, rue Madame.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
RAMEAUX, Professeur à la Faculté de Nancy.
RAULX, Directeur des télégraphes, à Auch.
RAYET, Professeur à la Faculté de Bordeaux, 88, rue du Tondu.
RAYNAUD, Sous-Inspecteur des Lignes télégraphiques, 60, boulevard Saint-Germain.
REYNIER, Ingénieur, 57, boulevard Voltaire.
REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.
REGNAULT (**V.**), Membre de l'Institut, rue de la Fontaine, Passy.
REY, Professeur de mathématiques à l'École régimentaire du Génie, à Arras.
ROLLAND (**Eug.**), Directeur général des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.
ROLLAND, 11, rue de Rivoli.
ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.
ROMMIER, 6, place Saint-Sulpice.
ROSENSTIEHL, Chimiste, 8, Chaussée Dornach, à Mulhouse.
RUHMKORFF, Constructeur, 13, rue Champollion.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Membre de l'Institut, 7, rue Taranne.
SAINT-LOUP, Professeur à la Faculté de Besançon.
SALET, Préparateur à la Faculté de Médecine, 84, boulevard Saint-Germain.
SCHÆFER (**G.-H.**), Professeur au Collége de Béziers.
SCHAEFFER, Chimiste à Dornach, près Mulhouse.
SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Physique, 1, rue du Siphon, Mulhouse.
SECCHI (**le P. A.**), Directeur de l'Observatoire du Collége Romain.
SÉGUIN, Recteur de l'Académie de Caen.
SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.
SIDOT, Préparateur au Lycée Charlemagne, 120, rue Saint-Antoine.
SIMONSTRE (**l'Abbé**), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

MM.

SIRVENT, Professeur au Collége Rollin, 116, rue de Rennes.

SOBAUX (**l'Abbé**), Prof. au Petit Séminaire de Paris, 19, rue N.-D.-des-Champs.

SOURDEVAL (**de**), 22, rue Bergère.

SPOTTISWOODE (**W.**), Vice-Président de la Société Royale de Londres, 50, Grosvenor-Place (S. W.), Londres.

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

TEISSIER, Professeur au Lycée de Nîmes, 61, rue Roussy.

TERNANT, Repr^t de la Cie de l'Eastern Telegraph, 8, r. Pavé-d'Amour, Marseille.

TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

THENARD (**Arnould**), 6, place Saint-Sulpice.

THOMSON (**Sir William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow.

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 69, avenue de l'Alma.

TORTEL, Professeur au Lycée de Grenoble.

TRANNIN (**Henri**), ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Fampoux (Pas-de-Calais).

TRIPIER (**le Dr**), 6, rue Louis-le-Grand.

TURIÈRE, Professeur au Collége de Béziers.

VAN MALDEREN (**J.**), Constructeur d'appareils électro-magnétiques, 67, avenue de Wagram.

VARIN, Professeur au Collége, à Épinal.

VAZEILLE, Professeur à Sainte-Barbe, 8, rue Gay-Lussac.

VERMEILLE, Professeur au Collége de Cambrai.

VIGNES, Professeur au Collége Chaptal, 15, rue Véron.

VILLIERS (**Antoine**), 8, rue du Havre.

VIMERCATI (**G.**), Directeur de la *Rivistà scientifico-industriale*, 49, Corso Tintori, Florence (Italie).

VIOLLE, Professeur à la Faculté de Grenoble.

WAHA (**de**), Professeur à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALFERDIN, à Nice.

WARREN DE LA RUE, 73, Portland place, Londres, W.

WEST, Intendant militaire en retraite, 13, rue Bonaparte.

WIESNEGG, Constructeur d'appareils pour les Sciences, 64, rue Gay-Lussac.

WOLF, Astronome à l'Observatoire de Paris, 95, rue des Feuillantines.

XAMBEU, Professeur au Collége de Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 10, rue Monge.

(Mars 1877.)

Les personnes dont le nom ou l'adresse ne sont pas correctement inscrits sont priées de transmettre les rectifications au Secrétaire général de la Société.

TABLE DES MATIÈRES.

3507 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

